



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**MANAJEMEN GANGGUAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV  
KOTA SURABAYA BERBASIS *GEOGRAPHIC INFORMATION  
SYSTEM (GIS)* MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA  
GENETIKA**

Choirur Rochman  
NRP 2214 105 107

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD  
Ir. Ni Ketut Ariani, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**FAULT MANAGEMENT DISTRIBUTION NETWORK 20 kV  
SURABAYA CITY BASED GEOGRAPHIC INFORMATION  
SYSTEM (GIS) WITH GENETIC ALGORITHM**

Choirur Rochman  
NRP 2214 105 107

Counselors:  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD  
Ir. Ni Ketut Ariani, MT

Electronical Engeneering Department  
The Faculty of Industrial Engeneering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Manajemen Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV Kota Surabaya berbasis *Geographic Information System* (GIS) Menggunakan Metode Algoritma Genetika**” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Januari 2017

Choirur Rochman  
NRP. 2214 105 107

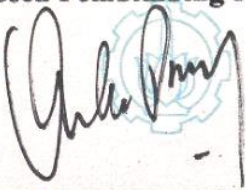
**MANAJEMEN GANGGUAN JARINGAN DISTRIBUSI 20  
kV KOTA SURABAYA BERBASIS GEOGRAPHIC  
INFORMATION SYSTEM (GIS) MENGGUNAKAN  
METODE ALGORITMA GENETIKA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 194907151974121001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Ni Ketut Arvani, MT.**  
**NIP. 196509011991032002**



# **Manajemen Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV Kota Surabaya berbasis *Geographic Information System (GIS)* Menggunakan Metode Algoritma Genetika**

Nama Mahasiswa : Choirur Rochman  
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D  
Dosen Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

## **Abstrak :**

Sistem distribusi merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi merupakan *sub* sistem tenaga listrik yang yang paling dekat dengan pelanggan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik. Gangguan dalam operasi sistem tenaga listrik merupakan kejadian yang dapat menyebabkan bekerjanya pengaman tenaga listrik. Adanya gangguan pada suatu sistem tenaga listrik atau penyediaan listrik ini tidak dikehendaki, tetapi merupakan kenyataan yang tidak dapat dihindarkan. Kondisi tersebut tidak bisa dibiarkan dalam waktu lama karena akan membuat kerusakan pada peralatan-peralatan listrik dan menimbulkan kerugian yang besar bagi penyedia listrik. Tindakan untuk mengurangi penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem tenaga listrik harus segera diupayakan karena keadaan tersebut jika dibiarkan secara terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan. Manajemen gangguan merupakan himpunan fungsi proses dari identifikasi, isolasi dan restorasi gangguan. Pada Tugas Akhir ini mengenai isolasi dan restorasi dilakukan dengan metode algoritma genetika dan upaya *load shedding* pada jaringan yang mengalami drop tegangan. Untuk mendapatkan restorasi yang paling optimal dengan mendapatkan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi diharap dengan algoritma genetika daan *load shedding* dapat mengatasi gangguan pada jaringan distribusi.

**Kata Kunci:** *Manajemen Gangguan, Algoritma Genetika, Load Shedding.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# ***Fault Management Distribution Network 20 KV Surabaya City based Geographic Information System (GIS) with Genetic Algorithm***

*Student Name : Choirur Rochman*  
*Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D*  
*Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.*

## **Abstrack :**

*The distribution system is an integral part of the power system. System distribution power system that is closest to the customer that serves to deliver electricity. Disruption in the operation of the power system is an event that can cause a safety operation of electric power. Disturbance in the electric power system or supply of electricity is not desired, but it is a reality that can not be avoided. That condition can not be left in a long time because it will create damage to electrical equipment and cause great harm to the electricity provider. Measures to reduce the voltage drop large enough the power system should be promoted as such circumstances if left on an ongoing basis, it will cause a decrease in power system reliability and quality of electrical energy is channeled. Interference management is a set of functions of the identification process, Isolation and Restoration interference. In this final task Isolation and restoration carried out by the method of genetic algorithms and load shedding efforts in tissues that undergo voltage drop. To get the most optimal restoration to obtain power losses in the distribution network is expected to load shedding daan genetic algorithm can overcome the interference in the distribution network*

**Keywords :***Differential Evolution, Distributed Generation, Radial Distribution System Network, Backward-Forward Sweep.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan Tugas Akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Bapak Prof. Ontoseno Penangsang, MT,Ph.D. dan Ibu Ni Ketut Aryani. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir.
3. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Keluarga besar LJ ganjil 2014, serta Keluarga Lab. PSSL.
5. Anak-Anak Wali 9, kos ketisno yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam penyelesaian buku Tugas Akhir ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, Januari 2017

Choirur Rochman

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi dan Manfaat .....	4
 <b>BAB II TEORI PENUNJANG</b> .....	 5
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Jaringan Pada Sistem Distribusi Primer .....	6
2.1.1.1 Sistem Radial .....	6
2.1.1.2 Sistem Ring ( <i>Loop</i> ).....	6
2.1.1.3 Jaringan Hantaran Penghubung ( <i>Tie Line</i> ) ....	7
2.1.1.4 Sistem Jaring-Jaring (Net) .....	8
2.1.1.5 Sistem <i>Spindle</i> .....	8
2.1.2 Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah 380/220V).....	9
2.2 Analisa Aliran Daya Metode $\mathbf{Z}_{br}$ .....	9
2.2.1 Pembentukan Matriks $\mathbf{K}$ .....	10
2.2.2 Pembentukan Matriks $\mathbf{Z}_{br}$ .....	10
2.2.3 Pembentukan Matriks $\mathbf{V}_{bus}$ .....	11
2.2.4 Pembentukan Matriks $\mathbf{I}$ .....	11
2.2.5 Pembentukan Matriks $\mathbf{V}_{br}$ .....	11
2.3 <i>Geographic Information Systems (GIS)</i> .....	12

2.3.1 Pengertian <i>GIS</i> .....	12
2.3.1.1 <i>Data Input</i> .....	12
2.3.1.2 <i>Data Output</i> .....	12
2.3.1.3 <i>Data Management</i> .....	12
2.3.1.4 <i>Data Manipulation &amp; Analysis</i> .....	12
2.3.1.5 Sejarah dan Perkembangan <i>GIS</i> .....	13
2.3.2 <i>GIS</i> Dalam Sistem Distrbusi Tenaga Listrik .....	13
2.4 Gangguan Distribusi .....	13
2.4.1 Gangguan Hubung Singkat .....	13
2.4.2 Gangguan Beban Lebih .....	13
2.4.3 Gangguan Tegangan Lebih .....	14
2.5 Manajemen Gangguan Distribusi .....	14
2.6 Algoritma Genetika .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	17
3.1 Blok Diagram Penelitian .....	17
3.1.1 Langkah-Langkah Pengembangan <i>Software</i> .....	17
3.1.2 Diagram Alur Pengembangan Simulasi <i>Software</i> .....	17
3.1.3 Diagram Alur Simulasi Aliran Daya Metode <i>Zbr</i> .....	18
3.2 Penyusunan Simulasi Aliran Daya Metode <i>Zbr</i> .....	20
3.3 Sistem Kelistrikan di Penyulang Kaliasin .....	24
3.4 Sistem Kelistrikan di Penyulang Tegalsari.....	26
3.5 Sistem Kelistrikan di Penyulang Tunjungan .....	29
3.6 Algoritma Genetika pada Proses Optimasi Restorasi Jari- ngan Distribusi .....	29
3.7 <i>Geographical Information System (GIS)</i> .....	34
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALIS</b> .....	37
4.1 Simulasi Isolasi dan Restorasi Gangguan.....	37
4.2 Penyulang Surabaya pada Kasus ke-1 .....	39
4.3 Penyulang Surabaya pada Kasus ke-2 .....	47
4.4 Optimasi Genetika Algoritma pada Kasus ke-2 .....	48
4.5 Penyulang Surabaya pada Kasus ke-3 .....	53
<b>BAB IV PENUTUP</b> .....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	65

# TABLE OF CONTENT

	Page
<b>TITLE</b>	
<b>AUTHENTICITY</b>	
<b>APROVAL SHEET</b>	
<b>ABSTRACT</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>FOREWORD</b> .....	v
<b>TABLE OF CONTENT</b> .....	vii
<b>LIST OF FIGURE</b> .....	ix
<b>LIST TABEL</b> .....	xi
 <b>CHAPTER I INTRODUCTION</b> .....	 1
1.1 Background .....	1
1.2 Problem.....	2
1.3 Purpose .....	2
1.4 Limitation Problem.....	2
1.5 Methodology.....	3
1.6 Systematics Writing.....	3
1.7 Relevance .....	4
 <b>BAB II BASIC THEORY</b> .....	 5
2.1 System Distribution Power Electricity .....	5
2.1.1 Primary System Distribution .....	6
2.1.1.1 Radial System .....	6
2.1.1.2 Loop System .....	6
2.1.1.3 Tie Line Network .....	7
2.1.1.4 Net System.....	8
2.1.1.5 Spindle System .....	8
2.1.2 Secondary System Distribution (Network Low Voltage 380/220V).....	9
2.1 Load Flow $Z_{br}$ Method.....	9
2.2.1 $K$ Matrix .....	10
2.2.2 $Z_{br}$ Matrix .....	10
2.2.3 $V_{bus}$ Matrix .....	11
2.2.4 $I$ Matrix .....	11
2.2.5 Matrix.....	11
2.3 Geographic Information Systems (GIS) .....	12

2.3.1 GIS Definiton .....	12
2.3.1.1 Data Input .....	12
2.3.1.2 Data Output .....	12
2.3.1.3 Data Management.....	12
2.3.1.4 Data Manipulation & Analysis .....	12
2.3.1.5 Historycal and Development GIS .....	13
2.3.2 GIS in the Distribution System Power Electricity .....	13
2.4 Distribution Fault .....	13
2.4.1 Short Circuit Fault .....	13
2.4.2 Overload Fault .....	13
2.4.3 Overvoltage Fault .....	14
2.5 Management Fault Distribution.....	14
2.6 Genetic Algorithm.....	14
<b>BAB III METHODOLOGY .....</b>	<b>17</b>
3.1 Block Diagram Research.....	17
3.1.1 Steps Development Software.....	17
3.1.2 Flowchart Development Simulation Software.....	17
3.1.3 Flowchart Simulation Loadflow Zbr Metode .....	18
3.2 Structure Simulation Loadflow Zbr Metode .....	20
3.3 Electrical System in the Kaliasin Feeder.....	24
3.4 Electrical System in the Tegalsari Feeder .....	26
3.5 Electrical System in the Tunjungan Feeder .....	29
3.6 Genetic Algorithm Optimation Process Restoration Distributon Network .....	29
3.7 Geographical Information System (GIS).....	34
<b>BAB IV SIMULATION AND ANALYSIS .....</b>	<b>37</b>
4.1 Simulation Isolation and Restoration Fault .....	37
4.2 Surabaya Feeder Study Case 1 .....	39
4.3 Surabaya Feeder Study Case 2 .....	47
4.4 Optimation Genetic Algorithm Study Case 2.....	48
4.5 Surabaya Feeder Study Case 3 .....	53
<b>BAB IV CLOSING .....</b>	<b>61</b>
5.1 Conclusion.....	61
5.2 Suggestion .....	61
<b>REFERENCES .....</b>	<b>63</b>
<b>BIOGRAPHY.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Sistem radial .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Sistem ring ( <i>loop</i> ) .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Sistem jaringan hantaran ( <i>tie line</i> ) .....	7
<b>Gambar 2.4</b> Sistem jaring-jaring ( <i>net</i> ) .....	8
<b>Gambar 2.5</b> Sistem <i>spindle</i> .....	9
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alur simulasi analisa aliran daya .....	18
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alur metode Zbr .....	19
<b>Gambar 3.3</b> Diagram tunggal sistem distribusi radial .....	20
<b>Gambar 3.4</b> Representasi sistem distribusi .....	21
<b>Gambar 3.5</b> Diagram alir algoritma genetika .....	33
<b>Gambar 3.6</b> Tampilan awal <i>GIS</i> PLN distribusi Jawa Timur .....	34
<b>Gambar 3.7</b> Tampilan <i>GIS</i> PLN distribusi Jawa Timur .....	35
<b>Gambar 4.1</b> Diagram satu garis penyulang Kaliasin, penyulang Tegalsari, dan penyulang Tunjungan .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Penyulang Kaliasin kondisi normal .....	46
<b>Gambar 4.3</b> Penyulang Tegalsari kondisi normal .....	46
<b>Gambar 4.4</b> Penyulang Tunjungan kondisi normal .....	47
<b>Gambar 4.5</b> Diagram satu garis penyulang Tunjungan .....	47
<b>Gambar 4.6</b> Sebelum pelepasan beban .....	57
<b>Gambar 4.7</b> Setelah pelepasan beban .....	60

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Data panjang saluran udara Kaliasin .....	25
<b>Tabel 3.2</b> Data impedansi saluran udara Kaliasin .....	25
<b>Tabel 3.3</b> Data beban Kaliasin .....	26
<b>Tabel 3.4</b> Data panjang saluran udara Tegalsari .....	26
<b>Tabel 3.5</b> Data impedansi saluran udara Tegalsari .....	27
<b>Tabel 3.6</b> Data beban Tegalsari .....	28
<b>Tabel 3.7</b> Data panjang saluran udara Tunjungan .....	29
<b>Tabel 3.8</b> Data impedansi saluran udara Tunjungan .....	30
<b>Tabel 3.9</b> Data beban Tunjungan.....	31
<b>Tabel 4.1</b> Studi kasus untuk simulasi isolasi dan restorasi .....	37
<b>Tabel 4.2</b> Aliran daya penyulang Kaliasin .....	39
<b>Tabel 4.3</b> Aliran daya penyulang Tegalsari.....	40
<b>Tabel 4.4</b> Aliran daya penyulang Tunjungan .....	42
<b>Tabel 4.5</b> Rugi daya di setiap penyulang kondisi normal .....	45
<b>Tabel 4.6</b> Kombinasi <i>switch</i> kondisi normal .....	45
<b>Tabel 4.7</b> Optimasi algoritma genetika kasus 2 .....	48
<b>Tabel 4.8</b> Aliran daya penyulang Kaliasin kasus ke-2.....	48
<b>Tabel 4.9</b> Aliran daya penyulang Tegalsari kasus ke-2 .....	51
<b>Tabel 4.10</b> Status <i>switch</i> .....	53
<b>Tabel 4.11</b> Data saluran udara Tunjungan kasus ke-3 .....	54
<b>Tabel 4.12</b> Data beban Tunjungan kasus ke-3 .....	54
<b>Tabel 4.13</b> Aliran daya penyulang Kaliasin sebelum <i>load shedding</i> . ..	54
<b>Tabel 4.14</b> Aliran daya penyulang Kaliasin setelah <i>load shedding</i> ...	58

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem distribusi merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi merupakan sub sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Jaringan distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan antara 3 kV sampai 20 kV. Pada saat ini PLN hanya mengembangkan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV. Jaringan distribusi tegangan menengah sebagian besar berupa saluran udara tegangan menengah dan kabel tanah.

Jaringan distribusi menggunakan *Geographic Information System (GIS)*, yang merupakan sistem informasi geografis yang memuat database tentang tata ruang umum yang menggunakan sistem koordinat sebagai referensinya.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik sering terjadi gangguan yakni penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Pengertian gangguan ialah keadaan sistem yang menyimpang dari keadaan normal, dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kelangsungan pelayanan tenaga listrik [1]. Gangguan dalam operasi sistem tenaga listrik merupakan kejadian yang dapat menyebabkan bekerjanya pengaman tenaga listrik. Adanya gangguan pada suatu sistem tenaga listrik atau penyediaan listrik ini tidak dikehendaki, tetapi merupakan kenyataan yang tidak dapat dihindarkan [2]. Kondisi tersebut tidak bisa dibiarkan dalam waktu lama karena akan membuat kerusakan pada peralatan-peralatan listrik dan menimbulkan kerugian yang besar bagi penyedia listrik.

Tindakan untuk mengurangi penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem tenaga listrik harus segera diupayakan karena keadaan tersebut jika dibiarkan secara terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan. Hal tersebut dapat pula menjadi sebab kerusakan alat-alat yang bersangkutan. Penanganan tersebut disebut dengan manajemen gangguan. Di dalam sistem distribusi tenaga listrik, manajemen gangguan merupakan salah satu fungsi utama untuk mengurangi waktu pemadaman. Untuk kesempatan ini, metode

dilakukan bervariasi di setiap negara [3]. Dalam menyelesaikan suatu gangguan adalah mendapatkan lokasi gangguan, sehingga gangguan dapat segera dihilangkan. Pada gangguan permanen, pemulihan dapat dilakukan dengan mengisolasi gangguan dan melakukan restorasi pada jaringan distribusi yang ada, dengan melakukan topologi jaringan yang dengan *feeder* yang ada dan dapat melayani daya beban, sehingga dapat mendapatkan hasil optimal dan rugi-rugi daya minimal.

Dalam hal ini penelitian menitikberatkan pada manajemen gangguan dengan judul “Manajemen Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV Kota Surabaya berbasis *Geographic Information System (GIS)* Menggunakan Metode Algoritma Genetika”.

Dalam Tugas Akhir ini, setelah lokasi gangguan diketahui, maka dilakukan isolasi lokasi daerah gangguan dan restorasi jaringan distribusi radial dengan rugi-rugi daya terendah ini akan dilakukan dengan metode algoritma genetika. Diharapkan mendapatkan hasil optimal dengan kombinasi *switch* yang mengacu pada pencarian rugi-rugi daya terkecil. Kemudian, hasil yang didapat akan ditampilkan secara geografis dan komunikatif.

## **1.2 Permasalahan**

Perumusan yang di bahas Tugas Akhir adalah bagaimana cara mengatasi gangguan secara cepat dan tepat ketika lokasi telah diketahui, sehingga proses isolasi dan restorasi dapat dilakukan dengan cepat dan kontinuitas pelayanan daya tetap terjaga

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang akan dicapai pada penulisan Tugas Akhir ini adalah mengatasi gangguan pada penyulang Surabaya, khususnya penyulang Kaliasin, penyulang Tegalsari dan penyulang Tunjungan dalam manajemen gangguan permanen dengan isolasi dan restorasi layanan pada penyulang yang mengalami gangguan pencarian rugi-rugi daya aktif terkecil.

## **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Evaluasi yang dilakukan yaitu mengenai isolasi gangguan dan pemulihan layanan
2. Simulasi dan analisa gangguan menggunakan *GIS*.

3. Metode yang digunakan perhitungan aliran daya adalah metode Zbr
4. Tidak Membahas secara detail proses identifikasi lokasi gangguan
5. Metode yang digunakan untuk optimasi algoritma genetika

### 1.5 Metodologi Penelitian

Alur metodologi penyelesaian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka  
Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan buku-buku maupun jurnal yang berkaitan tentang topik Tugas Akhir yang dibahas. Pustaka-pustaka yang dikumpulkan mencakup analisa aliran daya Zbr, GIS, dan Manajemen Gangguan
2. Pengenalan *software* dan eksperimen.  
Pengenalan *software* dilakukan dengan mempelajari *software* yang akan dikembangkan disertai melakukan eksperimen-eksperimen untuk mengetahui bagaimana cara kerja *software* tersebut.
3. Pengujian awal dan *troubleshooting* terhadap *bug* yang muncul  
Pengujian awal dilakukan untuk mencari *bug* / kesalahan dalam *software*. Pengujian ini lebih mengutamakan kelancaran penggunaan *software* sehingga diuji dengan data-data sederhana namun beragam.
4. Pengujian akhir dan finalisasi *software*  
Pengujian akhir dilakukan untuk memantapkan kembali kinerja *software* yang telah dikembangkan. Pada pengujian ini lebih mengutamakan kinerja *software* dalam melakukan perhitungan sehingga diuji dengan data-data yang lebih kompleks.
5. Pembuatan laporan Tugas Akhir  
Melakukan penulisan laporan yang menunjukkan hasil akhir dari Tugas Akhir.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

1. BAB 1 : Pendahuluan  
Bab ini merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, batasan masalah dan sistematika penulisan.
2. BAB 2 : Tinjauan Pustaka  
Bab ini secara garis besar membahas tentang jaringan distribusi, aliran daya, metode Zbr, *GIS*, induksi, restorasi dan algoritma genetika sebagai dasar dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. BAB 3: Metodologi Penelitian  
Bab ini membahas metodologi penelitian yang dilakukan, menampilkan data, metode Zbr untuk mengetahui aliran daya tiga fasa *unbalance* pada jaringan distribusi radial.
4. BAB 4 : Simulasi dan Analisis  
Bab ini membahas tentang hasil analisa aliran daya menggunakan metode Zbr dan membandingkan nya dengan *ETAP*. Serta metode optimalisasi yaitu algoritma genetika untuk mendapatkan rugi-rugi terkecil dan dibandingkan *ETAP*.
5. BAB 5 : Penutup  
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis menangani gangguan dalam jaringan distribusi metode isolasi dan restorasi.

## 1.7 Relevansi dan Manfaat

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bagi perusahaan listrik  
Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan listrik untuk menangani gangguan dalam jaringan distribusi.
2. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan mahasiswa lain  
Tugas Akhir ini diharapkan dapat membantu perkembangan ilmu pengetahuan dengan menjadi alat bantu pengembangan *software GIS* yang handal dan mudah digunakan.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang sistem distribusi tenaga listrik dan manajemen gangguan yang digunakan dalam penelitian ini.

#### **2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Sistem Distribusi merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi merupakan sub sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (bulk power source) sampai ke konsumen. Jaringan distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan antara 3 kV sampai 20 kV.

Desain sistem distribusi bervariasi mulai dari sistem radial sampai jaringan distribusi. Pertimbangan utama yang mempengaruhi desain adalah biaya dan keandalan sehingga dapat melayani semua pelanggan rumah tangga maupun pelanggan industri yang berada di sekitar jaringan

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. PLN sendiri menggunakan tegangan di level 20 kV untuk penyaluran distribusi primer dan level tegangan 220/380 V untuk penyaluran distribusi sekunder. Pada saat ini PLN hanya mengembangkan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV. Sistem distribusi dibagi menjadi dua subdivisi :

1. Distribusi primer, berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari gardu induk (atau sumber lain) ke titik-titik beban dimana disini tegangan diturunkan ke nilai tegangan yang dapat dimanfaatkan oleh para pelanggan.
2. Distribusi sekunder, adalah yang terdiri dari bagian pengoperasian sistem distribusi menuju ke meteran para pelanggan.

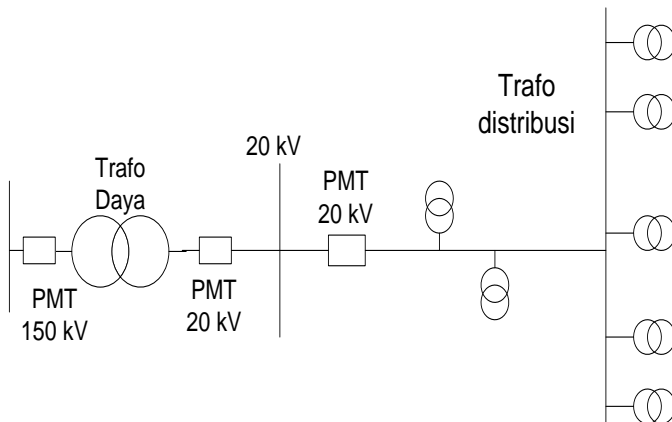
Jaringan distribusi primer 20 kV sering disebut Jaringan Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi sekunder 380/220 V sering disebut Jaringan Distribusi Tegangan Rendah.

### 2.1.1 Jaringan Pada Sistem Distribusi Primer

#### 2.1.1.1 Sistem Radial

Sistem radial pada gambar 2.1 merupakan sistem yang paling mudah penerapannya karena hanya terdapat pada satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam.

Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Selain itu tegangan konsumen pada ujung saluran pada gardu distribusi cenderung menurun (kurang baik)



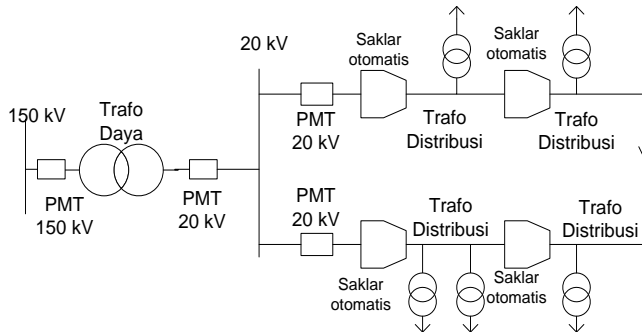
**Gambar 2.1** Sistem radial

#### 2.1.1.2 Sistem Ring (Loop)

Pada gambar 2.2 merupakan sistem ring yang berbentuk tertutup / bentuk jaring. Susunan rangkaian memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, yaitu melayani beban dari dua penyulang atau lebih. Sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin dan kualitas dayanya menjadi lebih baik. Hal ini membuat *drop* tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Akan tetapi biaya



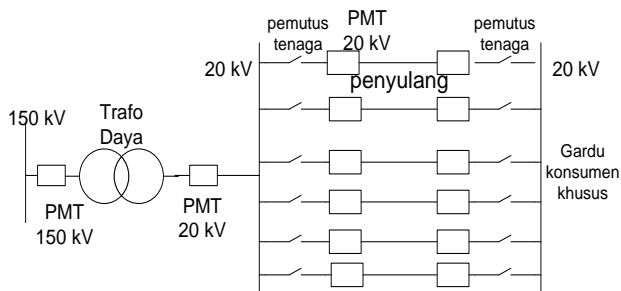
investasinya lebih mahal karena membutuhkan pemutus daya yang lebih banyak,



**Gambar 2.2** Sistem ring (*loop*)

### 2.1.1.3 Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

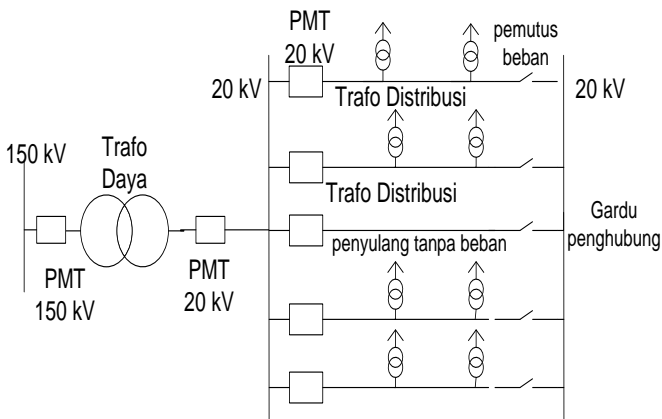
Pada gambar 2.3 merupakan sistem distribusi *Tie Line* digunakan untuk pelanggan Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain yang penting yang tidak boleh padam. Terdapat tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, yang berfungsi bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan setiap penyulang terkoneksi ke gardu konsumen khusus.



**Gambar 2.3** Sistem jaringan hantaran (*tie line*)

#### 2.1.1.4 Sistem Jaring-Jaring (Net)

Jaringan pada gambar 2.4 merupakan kombinasi antara radial dan *loop*. Terdiri dari lebih dari satu sumber sehingga terbentuk seperti saluran interkoneksi yang membentuk jaring-jaring. Sistem ini memiliki lebih banyak alternatif saluran / penyulang untuk mensuplai beban. Penyulang yang lain dapat menggantikan apabila salah satu penyulang terjadi gangguan. Kontinuitas pelayanan daya terjamin, kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran kecil dan *flexible* apabila ada pertumbuhan dan perkembangan beban.

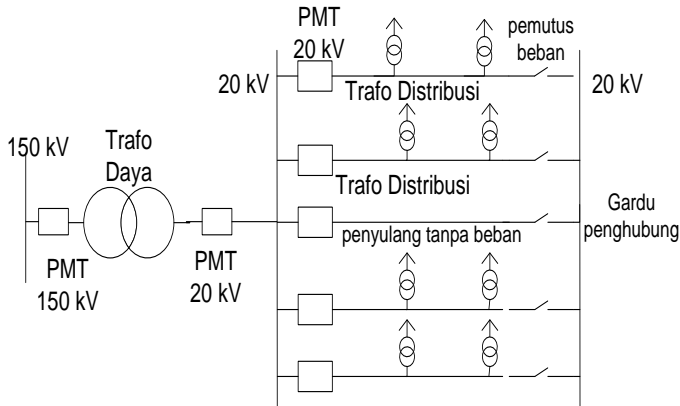


**Gambar 2.4** Sistem jaring-jaring (net)

#### 2.1.1.5 Sistem *Spindle*

Sistem *spindle* pada gambar 2.5 adalah suatu kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. *Spindle* terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah gardu hubug. Pada sebuah spindle biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola *spindle* biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah / saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan

tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).



**Gambar 2.5** Sistem *spindle*

### 2.1.2 Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah 380/220V)

Sistem distribusi sekunder seperti pada gambar 2.5 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen. Bentuk jaringan distribusi sekunder umumnya berbentuk radial

## 2.2 Analisa Aliran Daya Metode $Z_{br}$

Metode ini menggunakan karakteristik topologi dari sistem distribusi radial yang berdasarkan referensi cabang frame. Matriks impedansi  $Z_{br}$  dan Injeksi arus digunakan sebagai dasar untuk perhitungannya [3].

Pemodelan matematika digunakan sebagai langkah awal untuk melakukan analisa jaringan tenaga listrik. Teori Graph pertama kali dikenalkan oleh Leonhard Euler pada tahun 1736. Teori Graph mudah digunakan untuk menunjukkan hubungan antara objek. Teori ini mengacu pada node dan elemen yang menghubungkan antara node.

Analisa pendekatan metode Zbr digunakan didalam penelitian ini. Karena berdasarkan efisiensi komputasi dan solusi akurasi yang lebih tinggi.

Berdasarkan dari frame cabang sebagai referensi, metode Zbr menggunakan matriks impedansi cabang dan teknik injeksi arus. Dengan mengaplikasikan teori Graph, pembuatan matriks  $K$  bisa didapatkan dengan mudah, kemudian algoritma Zbr digunakan untuk mencari aliran daya.

Untuk sistem distribusi dengan  $n$  nodes,  $e$  elements,  $b$  cabang dan  $l$  links. Dimana  $b=n-1$  dan  $e = b + l = n - 1 + l$ . Jika jaringan distribusi radial maka semua beban direpresentasikan sebagai arus injeksi, kemudian  $l = 0$  dan  $e = b = n - 1$ .

### 2.2.1 Pembentukan Matriks $K$

Pembentukan matriks cabang menuju jalur ditunjukkan dengan pembentukan matriks cabang-jalur. Jalur/jalurnya berorientasi dari bus  $a$  menuju bus referensi, elements matriks ini adalah :

$K(i,j) = 1$ , jika cabang  $i$  yang berada di jalur antara bus  $j$ th dan bus referensi dan berorientasi dengan arah yang sama.

$K(i,j) = -1$ , jika cabang  $i$  yang berada di jalur antara bus  $j$ th dan bus referensi tetapi berorientasi berlawanan arah.

$K(i,j) = 0$ , jika cabang  $i$  tidak berada di jalur antara bus  $j$ th dan bus referensi.

Berdasarkan asumsi diatas maka didapatkan *square-matrix* non singular dengan dimensi  $(n - 1) \times (n - 1)$ .

### 2.2.2 Pembentukan Matriks $Z_{br}$

Dalam sistem distribusi radial, matriks impedansi cabang Zbr identik dengan matrix impedansi primitif  $[z]$ , dapat dilihat pada persamaan 2.1. Jadi matriks impedansi cabang  $Z_{br}$  dapat ditentukan secara langsung tanpa melalui prosedur pembentukan matrik admittansi cabang Ybr. Nilai Zbr sama dengan matriks impedansi primitif  $[z]$ . Matriks Zbr bernilai konstan dan hanya dibentuk satu kali. Sehingga waktu eksekusi untuk analisa aliran daya dapat ditingkatkan.

Ukuran dimensi matriks Zbr adalah  $(n - 1) \times (n - 1)$ . Dimana matriks non diagonalnya adalah 0.

$$Z_{br} = \begin{bmatrix} z_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & z_{ii} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

### 2.2.3 Pembentukan Matriks $V_{bus}$

Matriks tegangan ini diperoleh dari nilai tegangan pada bus  $i$ , untuk iterasi pertama  $V_{bus} = V_{bus}^{NL}$  dengan dimensi  $(n-1) \times (1)$ . Kemudian pada iterasi ke  $(k+1)$ , dilihat pada persamaan 2.2.

$$V_{bus}^{(k+1)} = V_{bus}^{NL} - V_{br}^{(k+1)} \quad (2.2)$$

### 2.2.4 Pembentukan Matriks $I$

Arus injeksi di bus untuk beban dapat dihitung. Untuk bus  $i$ , arus injeksinya untuk beban yang telah ditentukan di  $k$ th iterasi dengan dimensi  $(n-1) \times (1)$ , dilihat pada persamaan 2.3.

$$I_{bus(i)}^{(k)} = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2.3)$$

Kemudian  $I_{br}$  diperoleh, dilihat pada persamaan 2.4.

$$I_{br}^{(k)} = K \times I_{bus}^{(k)} \quad (2.4)$$

### 2.2.5 Pembentukan Matriks $V_{br}$

Vektor tegangan cabang  $V_{br}$  saat iterasi ke- $k$ , dilihat persamaan 2.5 dan persamaan 2.6

$$V_{br}^{(k)} = Z_{br} \times I_{br}^{(k)} \quad (2.5)$$

Prosedur iterasi diulangi lagi sampai *mismatches* dari tegangan cabang adalah kurang dari toleransi konvergen yang dipilih.

$$\Delta V_{br}^{(k+1)} = V_{br}^{(k)} - V_{br}^{(k-1)} \quad (2.6)$$

Jika hasil iterasi tegangan cabang tidak konvergen maka tegangan cabang saat iterasi ke  $(k + 1)$  diperbarui. Di sistem distribusi *acceleration factors* tingkat konvergennya dapat ditingkatkan, dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$V_{br}^{(k+1)} = V_{br}^{(k)} + \alpha \times \Delta V_{br}^{(k)} \quad (2.7)$$

## 2.3 *Geographic Information Systems (GIS)*

### 2.3.1 *Pengertian GIS.*

Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System*) atau yang lebih dikenal *GIS* adalah sistem informasi geografis yang memuat database tentang tata ruang umum yang menggunakan sistem koordinat sebagai referensinya.

*GIS* membutuhkan input data (dari *map*, *satelite*, *survei* dan sumber data lainnya), penyimpanan data jaringan, analisa, permodelan dan report data. Komponen-komponen pendukung *SIG* terdiri dari lima komponen yang bekerja secara terintegrasi yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data, manusia, dan metode.

#### 2.3.1.1 *Data Input*

Data *input* berfungsi untuk mengumpulkan, mempersiapkan dan menyimpan data spasial dan atributnya dari beberapa sumber. Data input juga berfungsi mengkonversikan atau mentransformasi format-format data aslinya ke dalam format yang digunakan oleh *GIS*

#### 2.3.1.2 *Data Output*

Data *output* berfungsi untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran, seluruh atau sebagian data.

#### 2.3.1.3 *Data Management*

Data *management* berfungsi untuk mengorganisasikan data spasial maupun tabel-tabel atribut yang terkait ke dalam sebuah sistem basis data.

#### 2.3.1.4 *Data Manipulation & Analysis*

Data *manipulation & analysis* ini berfungsi untuk menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh *GIS*. Selain itu juga melakukan manipulasi (evaluasi dan penggunaan fungsi dan operator

matematis & logika) dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

### **2.3.1.5 Sejarah dan Perkembangan GIS**

Penggunaan *GIS* modern (berbasis komputer, digital) dimulai sejak tahun 1960-an dan mulai diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1972 dengan nama Data Banks for Development. Munculnya istilah *GIS* seperti sekarang ini setelah dicetuskan oleh *general Assembly* dari *International Geographical Union* di Ottawa Kanada yang digunakan untuk menyimpan, menganalisa dan mengolah data yang dikumpulkan.

### **2.3.2 GIS Dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Aplikasi *GIS* dalam bidang distribusi tenaga listrik seperti : inventaris dan manajemen informasi jaringan distribusi, sistem informasi pelanggan jaringan, perencanaan pemeliharaan dan perluasan jaringan. [1]

## **2.4 Gangguan Distribusi**

Jaringan distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan antara 3 kVsampai 20 kV.Pada saat ini PLN hanya mengembangkan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV.Jaringan distribusi tegangan menengah sebagian besar berupa saluran udara tegangan menengah dan kabel tanah.

### **2.4.1 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fase (tiga fase atau dua fase) atau satu fase ke tanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen. Gangguan permanen : Hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, (tembusnya isolasi). Gangguan temporer : *Flashover* karena sambaran petir, flashover dengan pohon, tertiuip angin.

### **2.4.2 Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih terjadi karena pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan. Sehingga masa hidup dari peralatan tidak lama.

### **2.4.3 Gangguan Tegangan Lebih**

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi. Berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas dua hal, yaitu :

1. Tegangan lebih power frekuensi.  
Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.
2. Tegangan lebih surja  
Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surja petir.

Dari ketiga jenis gangguan tersebut, gangguan yang lebih sering terjadi dan berdampak sangat besar bagi sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat. Sehingga istilah gangguan pada sistem distribusi lazim mengacu kepada gangguan hubung singkat dan peralatan proteksi yang dipasang cenderung mengatasi gangguan hubung singkat ini.

### **2.5 Manajemen Gangguan Distribusi**

Tindakan untuk mengurangi penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem tenaga listrik harus segera diupayakan karena keadaan tersebut jika dibiarkan secara terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan. Hal tersebut dapat pula menjadi sebab kerusakan alat-alat yang bersangkutan. Penanganan tersebut disebut dengan manajemen gangguan. Di dalam sistem distribusi tenaga listrik, manajemen gangguan merupakan salah satu fungsi utama untuk mengurangi waktu pemadaman. Manajemen gangguan pada jaringan distribusi meliputi tiga hal:

1. Identifikasi lokasi gangguan
2. Mengisolasi gangguan
3. Merestorasi atau pemulihan sistem

Identifikasi lokasi gangguan adalah upaya menentukan gangguan yang terjadi dengan perkiraan akurat tentang lokasi gangguan. Setelah gangguan diketahui dan lokasi gangguan, maka segera dilakukan analisis yang mendasari tindakan pengisolasian gangguan ataupun merestorasi/pemulihan sistem.

### **2.6 Algoritma Genetika**

Algoritma genetika yang diciptakan John Holland awal tahun 1975 di Universitas Michigan, Amerika Serikat merupakan metode



adaptive yang biasa digunakan untuk memecahkan masalah nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma genetika digunakan untuk mencari solusi dalam kehidupan nyata.

Algoritma genetika memberikan solusi dari masalah yang tidak memiliki suatu metode pencarian solusi yang tepat, ataupun bila ada, mungkin membutuhkan waktu yang lama dalam mencari solusinya. Pencarian solusi dengan algoritma genetika ini diminati oleh karena tidak membutuhkan waktu yang lama. Selain itu hasil dari algoritma genetika ini cukup memuaskan dan dapat diaplikasikan pada semua bidang.

Inti dari algoritma genetika adalah secara bertahap akan mencari solusi terbaik (*survival of the fittest*) dari begitu banyak solusi yang ada. Pertama-tama algoritma genetika bekerja dengan membuat beberapa solusi secara acak, tentu saja dari tahapan pertama ini solusinya kemungkinan masih buruk.

“Halaman sengaja di kosongkan”

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Blok Diagram Penelitian**

Pada metodologi penelitian ini akan ditentukan langkah-langkah yang digunakan untuk pengembangan *software* analisa aliran daya dari awal sampai dilakukan pengujian dengan membandingkan hasil akhir metode ini dengan *software Electric Transient and Analysis Program (ETAP)*

##### **3.1.1 Langkah-Langkah Pengembangan Software**

Pengembangan analisa aliran daya agar agar dapat menghasilkan *software* yang sesuai dengan kondisi lapangan, maka langkah-langkah yang perlu dilakukan :

a. Studi literatur

Pada tahap ini referensi tentang metode Zbr yang sudah ada dipelajari dan dianalisa. Mengumpulkan referensi tentang bahasa pemrograman *Magik* dan *GIS*

b. Pengenalan *software*

Pengenalan *software* ini dilakukan dengan mempelajari *software GIS Smallworld* PLN Distribusi Jawa Timur yang akan dikembangkan.

c. Pembuatan algoritma aliran daya metode Zbr.

Pembuatan algoritma ini menggunakan bahasa pemrograman *Magik*. Bahasa pemrograman ini digunakan *GE Energy* untuk pengembangan *software GIS Smallworld* PLN Distribusi Jawa Timur

d. Pengujian *software*

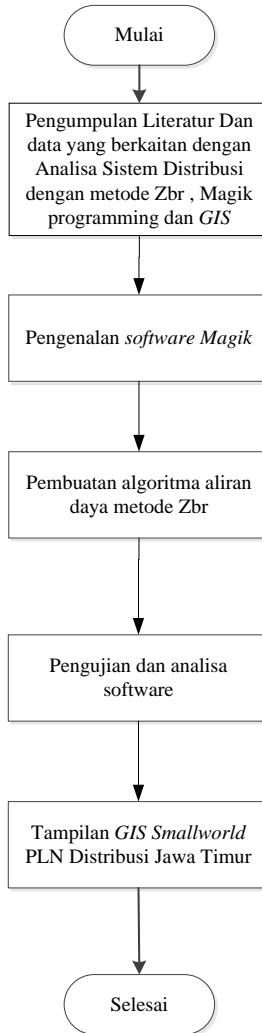
Pengujian akhir dilakukan untuk menguji kinerja *software* yang telah dikembangkan dengan menggunakan data yang berasal dari *GIS Smallworld* PLN Distribusi Jawa Timur. Pada pengujian ini melakukan perhitungan yang kompleks.

e. Validasi metode Zbr dengan (*ETAP*)

Setelah melakukan pengujian, hasil telah didapatkan dan di validasi dengan *ETAP*. *ETAP* adalah *software* untuk menganalisa transien suatu sistem tenaga listrik.

##### **3.1.2 Diagram Alur Pengembangan Simulasi Software**

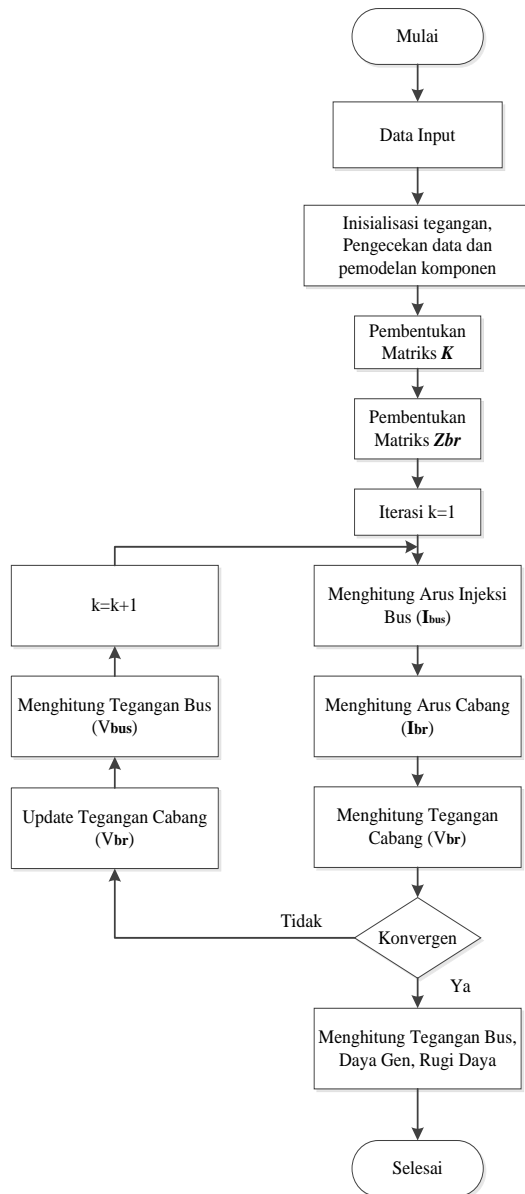
Penjelasan langkah-langkah pengembangan secara sistematis dapat dibuat dalam bentuk diagram alur seperti pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alur simulasi analisa aliran daya

### 3.1.3 Diagram Alur Simulasi Aliran Daya Metode Zbr

Penjelasan langkah-langkah penyusunan simulasi aliran daya metode Zbr dibuat dalam bentuk diagram alur seperti pada gambar 3.2 dibuat secara sistematis agar dipahami. Karena dari diagram alur simulasi tersebut merupakan kerangka dari Tugas Akhir ini.

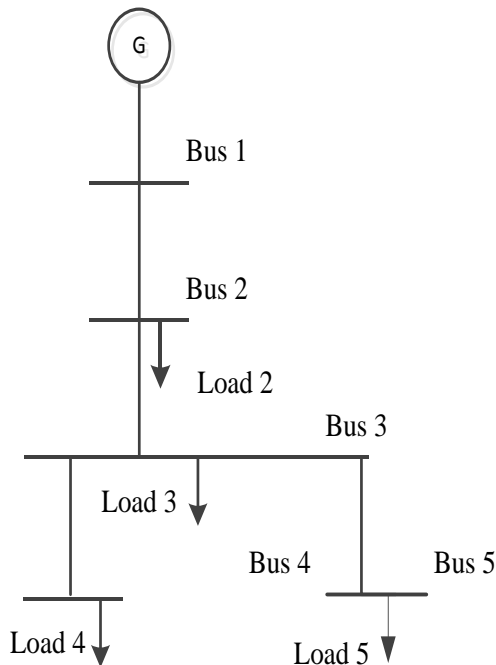


**Gambar 3.2** Diagram alur metode Zbr.

### 3.2 Penusunan Simulasi Aliran Daya Metode $Z_{br}$

Berdasarkan teori Graph pembentukan matriks K cabang-jalur dan matriks impedansi cabang  $Z_{br}$  yang telah dibahas di bab 2 dapat ditentukan dengan mudah.

Pada subbab ini akan dijelaskan metode  $Z_{br}$ . Node 1 dipilih sebagai bus referensi. Pada jaringan dibawah ini terdapat 6 node, 5 bus, 6 element dan 6 cabang.



**Gambar 3.3** Diagram garis tunggal sistem distribusi radial.

Diketahui data reaktansi dan resistansi :

$$Z_1 = 0.067 + j0.033$$

$$Z_2 = 0.036 + j0.017$$

$$Z_3 = 0.126 + j0.061$$

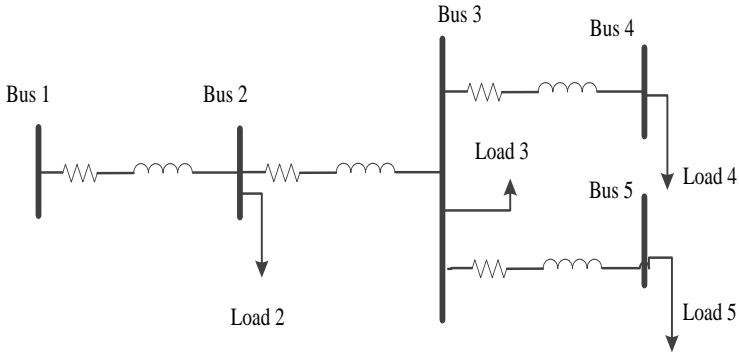
$$Z_4 = 0.041 + j0.020$$

$$S_2 = 21.5kW + 9.9kW$$

$$S_3 = 26.2kW + 6.1kW$$

$$S_4 = 42.6kW + 30.8kW$$

$$S_5 = 44.5kW + 26.9kW$$



**Gambar 3.4** Representasi sistem distribusi

Nilai tegangan *no load* bus  $V_{bus}^{NL}$  ditentukan sama dengan tegangan swing bus untuk setiap bus di sistem.

$$V_{bus} = V_{bus}^{NL} + K^t V_{br}$$

$$V_{bus} = [V_2 \quad V_3 \quad V_4 \quad V_5] ^t$$

$$V_{bus} = [20 \quad 20 \quad 20 \quad 20] ^t$$

Pembentukan matriks  $K$ :

$$BIBC = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pembentukan matriks impedansi cabang  $Z_{br}$ .

$$Z_{br} = [z]$$

$$Z_{br} = \begin{bmatrix} Z_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_{44} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Z}_{br} = \begin{bmatrix} 0.067 + j0.033 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.036 + j0.017 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.126 + j0.061 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.041 + j0.023 \end{bmatrix}$$

Arus beban tiap bus (iterasi=1) dapat dihitung dengan cara :

$$I_{bus}^{(k)}(i) = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^*$$

$$I_{bus}^{(1)}(i) = \begin{bmatrix} 1.075 - j0.495 \\ 1.11 - j0.305 \\ 2.13 - j1.54 \\ 2.225 - j1.345 \end{bmatrix}$$

$I_{bus}$  adalah vektor arus injeksi dari bus, dan  $I_{br}$  adalah vektor arus cabang. Jadi ketika  $I_{bus}^{(k)}$  saat iterasi  $k$ -th diketahui,  $I_{br}$  didapatkan :

$$I_{br}^{(k)} = \mathbf{K} \times I_{bus}^{(k)}$$

$$I_{br}^{(1)} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.075 - j0.495 \\ 1.11 - j0.305 \\ 2.13 - j1.54 \\ 2.225 - j1.345 \end{bmatrix}$$

$$I_{br}^{(1)} = \begin{bmatrix} -6.54 + j3.685 \\ -5.465 + j3.19 \\ -2.13 + j1.54 \\ -2.225 + j1.345 \end{bmatrix}$$

Vektor tegangan cabang saat iterasi  $k$ -th , :

$$V_{br}^{(k)} = \mathbf{Z}_{br} \times I_{br}^{(k)}$$

Di atas merupakan bentuk sederhana dari perkalian tegangan. Kemudian disubstitusikan dengan persamaan sebelumnya maka didapat rumusan di bawah ini:



$$\begin{aligned}
& \mathbf{V}_{br}^{(k)} \\
&= \begin{bmatrix} 0.067 + j0.033 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.036 + j0.017 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.126 + j0.061 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.041 + j0.023 \end{bmatrix} \\
&\times \begin{bmatrix} -6.54 + j3.685 \\ -5.465 + j3.19 \\ -2.13 + j1.54 \\ -2.225 + j1.345 \end{bmatrix} \\
&\mathbf{V}_{br}^{(k)} = \begin{bmatrix} -0.561 + j0.032 \\ -0.253 + j0.018 \\ -0.343 + j0.062 \\ -0.119 + j0.010 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Inisialisasi pertama untuk  $\mathbf{V}_{br} = \mathbf{0}$

$$\Delta \mathbf{V}_{br}^{(k+1)} = \mathbf{V}_{br}^{(k)} - \mathbf{V}_{br}^{(k-1)}$$

$$\Delta \mathbf{V}_{br} = \begin{bmatrix} -0.561 + j0.032 \\ -0.253 + j0.018 \\ -0.343 + j0.062 \\ -0.119 + j0.010 \end{bmatrix} - \mathbf{0}$$

$$\Delta \mathbf{V}_{br} = \begin{bmatrix} -0.561 + j0.032 \\ -0.253 + j0.018 \\ -0.343 + j0.062 \\ -0.119 + j0.010 \end{bmatrix}$$

Prosedur iterasi diulangi sampai mismatches error dari tegangan cabang adalah kurang dari nilai toleransi konvergen. Nilai toleransi konvergennya.

Jika hasil dari iterasi tidak konvergen, tegangan cabang saat iterasi  $(k + 1)$ th dapat diupdate dengan cara :

$$\mathbf{V}_{br}^{(k+1)} = \mathbf{V}_{br}^{(k)} + \alpha \times \Delta \mathbf{V}_{br}^{(k)}$$

$$\mathbf{V}_{br}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} -0.561 + j0.032 \\ -0.253 + j0.018 \\ -0.343 + j0.062 \\ -0.119 + j0.010 \end{bmatrix} + 0.1 \begin{bmatrix} -0.561 + j0.032 \\ -0.253 + j0.018 \\ -0.343 + j0.062 \\ -0.119 + j0.010 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}_{br}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} -0.6171 + j0.0352 \\ -0.2783 + j0.0198 \\ -0.3773 + j0.0682 \\ -0.1309 + j0.011 \end{bmatrix}$$

Dimana  $\alpha$  adalah faktor akselerasi yang bernilai  $\alpha < 1$  , untuk meningkatkan capaian nilai konvergen.

Maka update  $\mathbf{V}_{bus}$  didapatkan :

$$\mathbf{V}_{bus}^{(k+1)} = \mathbf{V}_{bus}^{NL} - \mathbf{V}_{br}^{(k+1)}$$

$$\mathbf{V}_{bus}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} 20 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.6171 + j0.0352 \\ -0.2783 + j0.0198 \\ -0.3773 + j0.0682 \\ -0.1309 + j0.011 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}_{bus}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} 19.3829 + j0.0352 \\ 19.7217 + j0.0198 \\ 19.6227 + j0.0682 \\ 19.8691 + j0.011 \end{bmatrix}$$

Update tegangan bus digunakan untuk melakukan iterasi selanjutnya dan dilakukan perhitungan lagi sampai nilai  $\Delta \mathbf{V}_{br}$  mencapai nilai konvergen.

### 3.3 Sistem Kelistrikan di Penyulang Kaliasin

Kota Surabaya merupakan kota metropolis kedua di Indonesia bukan hanya padat penduduk, tetapi juga memiliki industri dengan kebutuhan daya listrik yang cukup tinggi. Sehingga kota Surabaya membutuhkan suplai daya listrik yang cukup besar. Dilihat dari topologi jaringannya memiliki tipe jaringan radial tiga fasa tanpa pembagian fasa di setiap bus gardu distribusi. Artinya di setiap bus disuplai oleh dengan komposisi tiga fase penuh. Akan tetapi, keadaan di lapangan setiap fasa tetap menyuplai beban yang tidak seimbang.

Pada sistem distribusi 20 kV Surabaya dalam Tugas Akhir ini menggunakan penyulang antara lain:

1. Gardu Induk Kupang
  - Penyulang Kaliasin
  - Penyulang Tegalsari
2. Gardu Induk Simpang
  - Penyulang Tunjungan

Berikut ini adalah data-data penunjang dari beberapa penyulang yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

### **Penyulang Kaliasin**

Penyulang Kaliasin memiliki 7 bus dengan menggunakan level tegangan 20 kV. Pada tabel 3.1 adalah data dari panjang saluran udara. Pada tabel 3.2 adalah impedansi saluran udara.

**Tabel 3.1** Data panjang saluran udara Kaliasin

Dari Bus	Ke Bus	L (km)
1	2	0,254
2	3	0,13623
2	5	0,47663
5	4	0,15688
4	6	0,03095
5	7	0,71937

Dengan nilai  $R = 0,265/\text{km}$  dan nilai  $X = 0,13/\text{km}$  maka didapatkan nilai impedansi seperti pada tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Data impedansi saluran udara Kaliasin

Saluran		Impedansi	
Dari Bus	Ke Bus	Dari Bus	Ke Bus
1	2	0.0673	0.0330
2	3	0.0361	0.0177
2	5	0.1263	0.0619
5	4	0.0415	0.0203
4	6	0.0082	0.0040
5	7	0.1906	0.0935

Data beban pada penyulang Kaliasin diketahui pada tabel 3.3 diketahui sebagai berikut:

**Tabel 3.3** Data beban Kaliasin

Bus	Daya					
	P (kW)			Q (kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
2	40,8	39,9	40,8	13,4	13,1	13,4
3	85,5	87,4	89,3	28,1	28,7	29,3
5	38	39,9	43,7	12,4	13,1	14,3
4	40,8	38,9	41,8	13,4	12,8	13,7
6	38,9	38,0	44,6	12,8	12,4	14,6
7	284	279	280	93,3	91,8	92,1

### 3.4 Sistem Kelistrikan di Penyulang Tegalsari

Penyulang Tegalsari memiliki 25 bus dengan menggunakan level tegangan 20kV. Pada tabel 3.4 adalah data dari panjang saluran udara. Pada tabel 3.5 adalah impedansi saluran udara.

**Tabel 3.4** Data panjang saluran udara Tegalsari

Dari Bus	Ke Bus	L (km)
1	2	0.08323
2	3	0.12339
3	4	0.04646
4	5	0.02732
4	6	0.05768
6	7	0.06341
7	8	0.03341
8	9	0.06461
9	10	0.12368
10	11	0.01146
11	12	0.08969
12	13	0.11824
12	14	0.08100
14	15	0.25400
14	16	0.17858
14	17	0.25631
17	18	0.22365

Lanjutan Tabel 3.4

Dari Bus	Ke Bus	L (km)
18	19	0.01810
19	20	0.19549
19	21	0.19600
19	22	0.20000
22	23	0.03266
23	24	0.07126
24	25	0.02136

Dengan nilai  $R = 0,265/\text{km}$  dan nilai  $X = 0,13/\text{km}$  maka didapatkan nilai impedansi seperti pada tabel 3.5

**Tabel 3.5** Data impedansi saluran udara Tegalsari

Saluran		Impedansi	
Dari Bus	Ke Bus	Dari Bus	Ke Bus
1	2	0,0220	0,0108
2	3	0,0326	0,0160
3	4	0,0123	0,0060
4	5	0,0072	0,0035
4	6	0,0152	0,0074
6	7	0,0168	0,0082
7	8	0,0088	0,0043
8	9	0,0171	0,0083
9	10	0,0327	0,0160
10	11	0,0030	0,0014
11	12	0,0237	0,0116
12	13	0,0313	0,0153
12	14	0,0214	0,0105
14	15	0,0673	0,0330
14	16	0,0473	0,0232
14	17	0,0679	0,0333
17	18	0,0592	0,0290
18	19	0,0047	0,0023
19	20	0,0517	0,0254
19	21	0,0519	0,0255
19	22	0,0053	0,0026

Lanjutan Tabel 3.5

Saluran		Impedansi	
Dari Bus	Ke Bus	Dari Bus	Ke Bus
22	23	0,0086	0,0042
23	24	0,0189	0,0092
24	25	0,0056	0,0027

Data beban pada penyulang Tegalsari diketahui pada tabel 3.6

**Tabel 3.6** Data beban Tegalsari

Bus	Daya					
	P (kW)			Q (kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
2	65	62,7	61,7	21,3	20,6	20,3
3	62,7	66,1	60,8	20,6	21,7	19,9
4	38,9	40,8	41,7	12,8	13,4	13,7
5	37,8	39,9	36	12,4	13,1	11,8
6	11,4	9,5	17,1	3,7	3,1	5,6
7	12,8	11,4	13,7	4,2	3,7	4,5
8	53,7	52,3	45,5	17,6	17,2	14,9
9	26,6	24,9	24,4	8,7	8,2	8,0
10	23,7	28,5	23,7	7,8	9,3	7,8
11	39,9	42,7	38,9	13,1	14	12,8
12	40,8	40,8	39,9	13,4	13,4	13,1
13	402	323	225	132	106	74
14	23,7	17,5	15,6	7,8	5,7	5,1
15	132	153	133	43	50,2	43,7
16	92,7	94,5	75	30,4	31	24,6
17	40,1	42,4	39,2	13,2	13,9	12,8
18	38	28,5	28,5	12,4	93,6	93,6
19	7,6	4,7	6,6	2,4	1,5	2,1
20	142	137	143	46,5	44,9	47,1
21	74,1	65,5	42,7	24,3	21,5	14
22	57	52,2	42,7	18,7	17,1	14
23	49,4	55,1	47,5	16,2	18,1	15,6
24	62,7	65,3	61,7	20,6	21,4	20,2
25	8,7	7,4	8,1	2,6	2,4	2,6

### 3.5 Sistem Kelistrikan di Penyulang Tunjungan

Penyulang Tunjungan memiliki 30 bus dengan menggunakan level tegangan 20 kV. Pada tabel 3.7 adalah data dari panjang saluran udara. Paada tabel 3.8 adalah impedansi saluran udara.

**Tabel 3.7** Data panjang saluran udara Tunjungan

Dari Bus	Ke Bus	L (km)
1	2	0.2722
2	3	0.14613
3	4	0.4977
3	5	0.0669
4	6	0.03127
6	7	0.04645
7	8	0.10968
7	9	0.06102
8	11	0.06155
8	14	0.1369
11	12	0.07334
12	13	0.0025
14	15	0.07302
15	16	0.03462
9	10	0.08332
10	17	0.04528
17	19	0.1478
17	18	0.07613
18	20	0.0047
20	23	0.05892
20	22	0.09241
20	21	0.06432
21	24	0.00398
24	25	0.07472
24	26	0.0087
24	27	0.11787

Lanjutan Tabel 3.7

Dari Bus	Ke Bus	L (km)
27	28	0.0026
28	29	0.04021
29	30	0.005
30	31	0.00297

Dengan nilai  $R = 0,265/\text{km}$  dan nilai  $X = 0,13/\text{km}$  maka didapatkan nilai impedansi seperti pada tabel 3.8

**Tabel 3.8** Data impedansi saluran Tunjungan

Saluran		Impedansi	
Dari Bus	Ke Bus	Dari Bus	Ke Bus
1	2	0,0721	0,0356
2	3	0,0413	0,0202
3	4	0,0131	0,0064
3	5	0,0177	0,0086
4	6	0,0082	0,0040
6	7	0,0123	0,0060
7	8	0,0290	0,0142
7	9	0,0161	0,0079
8	11	0,0163	0,0080
8	14	0,0362	0,0177
11	12	0,0194	0,0095
12	13	0,0006	0,0003
14	15	0,0193	0,0094
15	16	0,0091	0,0045
9	10	0,0223	0,0109
10	17	0,0119	0,0058
17	19	0,0391	0,0192
17	18	0,0201	0,0098
18	20	0,0012	0,0006
20	23	0,0156	0,0076
20	22	0,0244	0,0120
20	21	0,0170	0,0083
21	24	0,0105	0,0005
24	25	0,0198	0,0090
24	26	0,0230	0,0112
24	27	0,0312	0,0150



Lanjut Tabel 3.8

Saluran		Impedansi	
Dari Bus	Ke Bus	Dari Bus	Ke Bus
27	28	0,0006	0,0003
28	29	0,0106	0,0052
29	30	0,0013	0,0006
30	31	0,0060	0,0020

Data beban pada penyulang Tunjungan diketahui pada tabel 3.9.

**Tabel 3.9** Data beban Tunjungan

Bus	Daya					
	P (kW)			Q(kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
2	12,3	4	11,4	3,7	10,4	3,4
3	24,7	8,1	25,6	8,4	23,7	7,8
4	50,3	16,5	49,4	16,2	51,3	16,8
5	175	57,4	171	56,2	179	58,7
6	38	12,4	37	12,1	38,9	12,8
7	24,7	8,1	25,6	8,4	23,7	7,8
8	47,5	15,6	49,4	16,2	48,4	15,9
9	11,4	3,7	12,4	3,6	115	3,3
10	57	18,7	58,5	17	61,7	12,5
11	480	140	490	143	46,1	134
12	50,4	12,6	49,9	10,1	50,3	16,5
13	47,5	15,6	48	14	52,2	17,1
14	126	31,6	127	31,8	129	26,2
15	63,3	18,4	62,4	18,2	61,4	17,9
16	194	48,6	173	50,4	202	58,8
17	24,9	7,2	24	7	23	6,7
18	86,3	25,2	86,4	25,2	83,6	27,4
19	36,1	8,1	33,2	10,9	38	12,4
20	24,9	7,2	24	7	22	6,4
21	86,4	25,2	85,3	21,3	85,4	24,9
22	24,7	8,1	25,9	7,5	24	7
23	24,9	7,2	25,9	7,5	27,1	6,8

Lanjutan Tabel 3.9

Bus	Daya					
	P (kW)			Q(kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
24	38,4	11,2	36,4	10,6	37,4	10,9
25	317	92,4	288	84	307	89,6
26	125	36,4	116	29,1	120	35
27	62,4	18,2	63,3	18,4	643	18,7
28	48,5	12,1	52,3	13,1	50,4	12,6
29	63,3	18,4	62,4	18,2	62,4	18,2
30	51,4	12,8	49,9	14,5	48,5	12,1
31	50,8	14,8	50,4	12,6	48,9	14,2

### 3.6 Algoritma Genetika pada Proses Optimasi Restorasi Jaringan Distribusi

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan melakukan restorasi pada sistem jaring distribusi radial untuk meminimalisasi rugi daya nyata pada sistem. Pengolahan data menggunakan *software Magik*. Langkah awal untuk optimisasi pada mencari kombinasi *switch* untuk dipilih rugi daya aktif terkecil.

Restorasi jaringan mempunyai rugi daya terendah menjadi kandidat menjadi pengalihan beban, penyulang yang terkena gangguan, ke penyulang pendukung. Ketika telah ditemukan jaringan distribusi yang optimal untuk dilakukan restorasi, *loadflow* akan menghitung nilai rugi daya tegangan yang baru. Pencarian rugi daya terendah menggunakan *loadflow* untuk menghitung nilai rugi daya tegangan yang baru.

Perumusan matematika masalah optimisasi untuk aplikasi rugi-rugi daya adalah sebagai berikut,

1. *Obj. Function* (fungsi yang nilainya akan dioptimisasi) yang digunakan untuk menurunkan rugi-rugi daya adalah :

$$Obj. Function = \min \sum_{i=1}^n P_{loss} \quad (3.1)$$

$P_{Loss}$  adalah total kerugian daya aktif pada sistem.

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^n V_i \times I_i \quad (3.2)$$

$V_i$  = Drop tegangan

$I_i$  =Magnitud arus

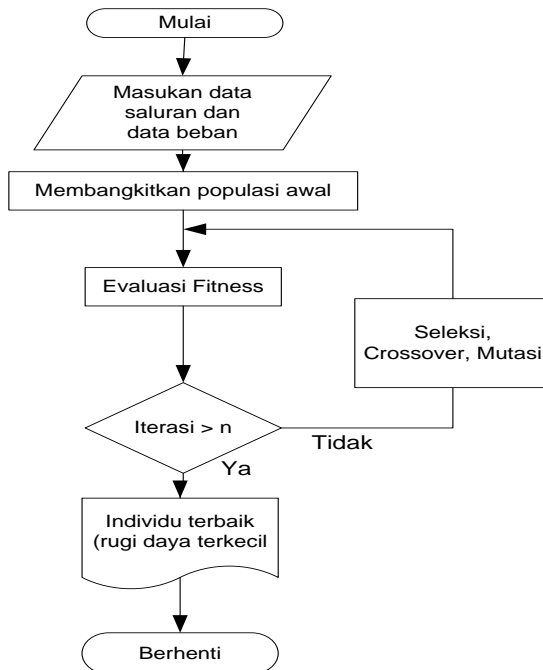
2. Batasan tegangan yang diijinkan berada pada  $\pm 5\%$  tegangan nomimal.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{maks} \quad (3.3)$$

$i = \text{nomor bus}$  ,      untuk  $i = 1, 2, 3, \dots, n$   
 $V_{min} = 21 \text{ V}$   
 $V_{maks} = 18 \text{ V}$

$$P_{min} \leq P \leq P_{maks}$$

Perumusan matematika masalah optimisasi untuk aplikasi restorasi jaringan adalah sebagai berikut,  
 Proses optimisasi menggunakan algoritma genetika dilakukan dengan langkah sebagai berikut:



**Gambar 3.5** Diagram alir algoritma genetika

*Flowchart* Algoritma Genetika Optimasi Rugi Daya

1. Masukkan data saluran dan data beban
2. Membangkitkan populasi awal berupa populasi yang terdiri dari kumpulan individu yang dibangkitkan secara acak, dimana satu individu dalam populasi merepresentasikan satu solusi.

3. Evaluasi *fitness* atau evaluasi setiap individu  $f(x)$  dalam populasi. Evaluasi individu digunakan untuk mengevaluasi atau memperoleh nilai *fitness* terbaik dari individu pada setiap generasi atau iterasi. Nilai *fitness* ini menyatakan baik tidaknya suatu solusi (individu).
4. Membangkitkan populasi baru dengan menggunakan operator dalam algoritma genetika dengan langkah-langkah berikut:
  - a. Seleksi. Digunakan untuk memilih 2 individu sebagai calon induk yang akan dipilih untuk proses selanjutnya yaitu proses *crossover*.
  - b. *Crossover*. Dua induk atau orang tua dengan melakukan operasi pertukaran pada gen-gen yang bersesuaian untuk membentuk suatu individu baru (anak-anak). Pada Tugas Akhir ini, metode pindah silang menggunakan metode pindah silang satu titik.
  - c. Mutasi. Dengan probabilitas mutasi, bermutasi keturunan baru pada setiap lokus (posisi dalam kromosom).
4. Gunakan populasi yang dihasilkan individu baru untuk menjalankan proses selanjutnya.
5. Jika kondisi akhir terpenuhi, berhenti, dan kembali solusi terbaik dalam populasi.
6. Lanjut ke langkah 2.

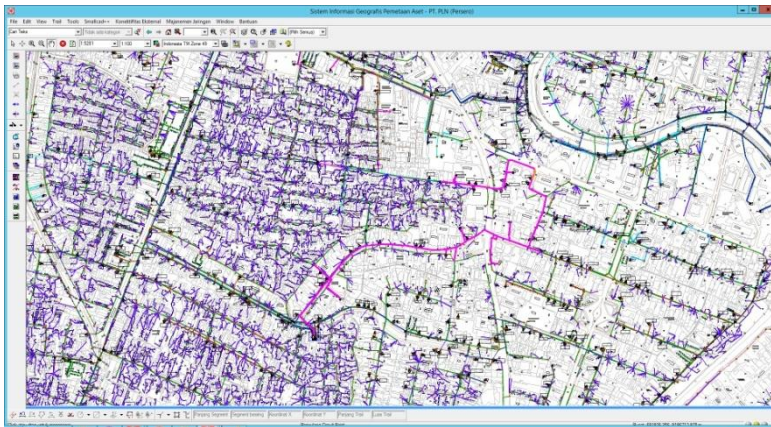
### 3.7 *Geographical Information System (GIS)*

Tugas Akhir ini menggunakan *software GIS Smallworld* PLN Area Distribusi JawaTimur yaitu *software* aplikasi yang menyediakan pengelolaan aset geospasial utilitas listrik untuk mendukung perencanaan jaringan, desain, pemeliharaan dan operasi pada PT. PLN Area Distribusi Jawa Timur, seperti pada gambar 3.6



**Gambar 3.6** Tampilan awal *GIS* PLN distribusi Jawa Timur

Setelah memilih gardu induk Kupang dengan penyulang Kaliasin, penyulang Tegalsari dan gardu induk Simpang dengan penyulang Tunjungan maka dapat di *trace* topologi jaringan sistem tenaga listrik seperti pada gambar 3.7



**Gambar 3.7** Tampilan *GIS* PLN distribusi Jawa Timur

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1 Simulasi Isolasi dan Restorasi Gangguan

Simulasi dari layanan restorasi pada penyulang Surabaya adalah sebagai berikut:

1. Mengembalikan layanan kepada pelanggan yang mengalami gangguan sebanyak mungkin
2. Menjaga konfigurasi sistem untuk radial setelah layanan restorasi untuk koordinasi perlindungan yang lebih baik dari sistem distribusi
3. Tidak membebani setiap komponen dengan beban lebih (*overload*) pada sistem distribusi.

Pada simulasi dan restorasi gangguan, penyulang yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah penyulang di Surabaya yang telah ditambahkan *sectional switch* (SS) dan *tie switch* (TS) untuk mengatasi dan memulihkan daya saat terjadi gangguan pada penyulang.

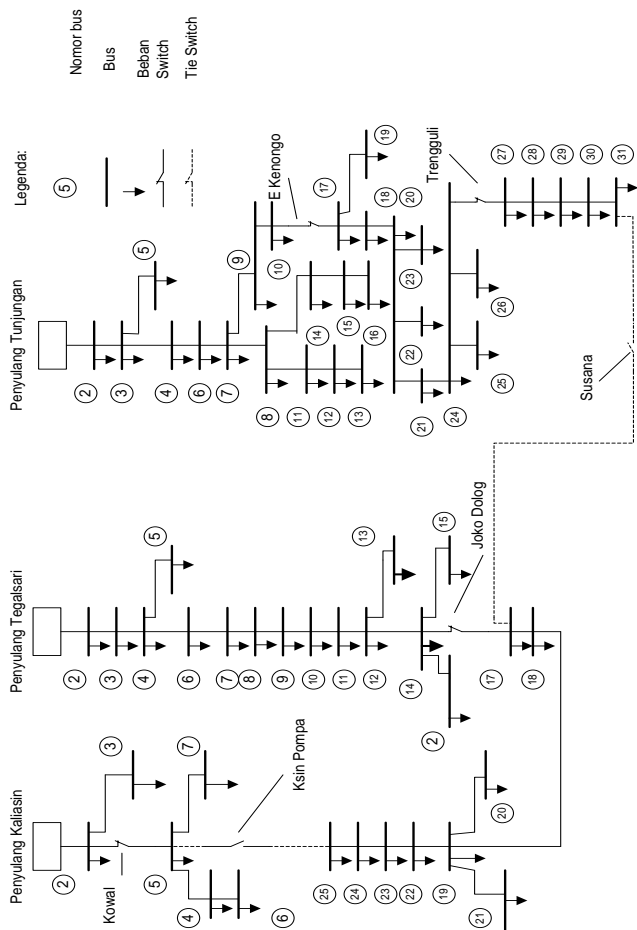
*Sectional Switch* digunakan untuk membagi penyulang menjadi daerah-daerah yang digunakan sebagai isolasi gangguan tidak memberikan pengaruh bus pada yang lain. Sedangkan *tie switch* sebagai penghubung antar penyulang jika terjadi gangguan. Sehingga beban yang tidak terlayani pada penyulang yang mengalami gangguan dapat diatasi dengan tepat.

Proses isolasi dan restorasi gangguan, dilakukan simulasi aliran daya pada jaringan distribusi 20 kV di Surabaya dengan menggunakan *software Magik*. Pada proses simulasi aliran daya, langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan parameter data saluran dan data beban pada jaringan distribusi. Kemudian dilakukan running aliran daya, maka akan didapatkan nilai tegangan, arus dan daya setiap bus.

Untuk menyimulasikan perencanaan restorasi pada penyulang karena gangguan hubung singkat digunakan studi kasus untuk mempermudah analisis. Pada tabel 4.1 memperlihatkan simulasi studi kasus yang terjadi.

**Tabel 4.1** Studi kasus untuk simulasi isolasi dan restorasi

Kasus	Keterangan
1	Penyulang pada keadaan normal
2	Penyulang Tunjungan mengalami gangguan ( bus 2)
3	Penyulang Tunjungan mengalami <i>overload</i> , setelah restorasi



**Gambar 4.1** Diagram satu garis penyulang Kaliasin, penyulang Tegalsari, dan penyulang Tunjungan

Pada gambar 4.1 merupakan diagram satu garis dari penyulang Kaliasin, penyulang Tegalsari, dan penyulang Tunjungan dalam kondisi



normal. Di mana dapat dilihat kondisi *tie switch* untuk penghubung antar penyulang dalam keadaan *open*.

#### 4.2 Penyulang Surabaya pada Kasus ke-1

Pada studi kasus ke-1 disimulasikan aliran daya pada penyulang dalam keadaan normal sebagai acuan dalam menganalisa proses isolasi dan restorasi pada penyulang untuk mengatasi gangguan yang terjadi. Berikut data aliran daya dari penyulang Kaliasin, penyulang Tegalsari, penyulang Tunjungan.

Simulasi aliran daya pada penyulang Kaliasin digunakan data saluran dan data pembeban pada tabel 4.2 adalah hasil perhitungan dari *Magik*.

**Tabel 4.2** Aliran daya penyulang Kaliasin

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
1	A	20	0	49.64	0	0
	B	20	-120	49.18	0	0
	C	20	120	50.78	0	0
2	A	19.99	0.0002043	49.64	0.1569	0.07239
	B	19.99	-120	49.18	0.1555	0.1024
	C	19.99	120	50.78	0.1605	0.07406
3	A	19.99	0.002229	8.035	0.002243	0.001044
	B	19.99	-120	8.212	0.002293	0.001519
	C	19.99	120	8.389	0.002343	0.001089
5	A	19.98	0.005101	37.77	0.1701	0.07805
	B	19.98	-120	37.22	0.1676	0.1100
	C	19.98	120	38.56	0.1736	0.07970
4	A	19.99	0.004904	7.225	0.002151	0.0009965
	B	19.98	-120	7.317	0.002179	0.001439
	C	19.98	120	8.293	0.002470	0.001143
6	A	19.98	0.005124	3.658	0.0001074	0.000053
	B	19.98	-120	3.566	0.0001050	0.000072
	C	19.98	120	4.189	0.0001232	0.000060
7	A	19.98	0.007906	26.71	0.1267	0.05809
	B	19.97	-120	26.25	0.1245	0.08167
	C	19.98	120	26.34	0.1249	0.05733

Simulasi aliran daya pada penyulang Tegalsari digunakan data saluran dan data pembeban pada tabel 4.3 adalah hasil perhitungan dari *Magik*.

**Tabel 4.3** Aliran daya penyulang Tegalsari

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
1	A	20	0	145,2	0	0
	B	20	-120	143,9	0	0
	C	20	120	125,7	0	0
2	A	19,99	0.001408	145,2	0.4156	0.1782
	B	19,99	-120	143,9	0.3915	0.2709
	C	19,99	120	125,7	0.3404	0.1705
3	A	19,99	0.003280	139.1	0.5645	0.2385
	B	19,99	-120	138.0	0.5314	0.3657
	C	19,99	120	119.9	0.4594	0.2286
4	A	19,98	0.004028	133.2	0.1949	0.08431
	B	19,98	-120	131.8	0.1824	0.1280
	C	19,98	120	114.2	0.1571	0.08051
5	A	19,98	0.004047	3.552	0.000085	0.000041
	B	19,98	-120	3.751	0.00009	0.000062
	C	19,98	120	3.383	0.000081	0.00004
6	A	19,98	0.004827	126.0	0.2145	0.09094
	B	19,98	-120	124.2	0.1994	0.1392
	C	19,98	120	106.9	0.1705	0.08678
7	A	19,98	0.005693	124.9	0.2327	0.09844
	B	19,98	-120	123.3	0.2165	0.1508
	C	19,98	120	105.3	0.1836	0.09350
8	A	19,98	0.006217	123.7	0.1196	0.05248
	B	19,97	-120	122.2	0.1112	0.07956
	C	19,98	120	104.0	0.09390	0.04952
9	A	19,97	0.007005	118.7	0.2136	0.08918
	B	19,97	-120	117.3	0.1985	0.1380
	C	19,97	120	99.69	0.1675	0.08516
10	A	19,97	0.008389	116.2	0.3912	0.1612
	B	19,96	-120	115.0	0.3637	0.2513
	C	19,97	120	97.39	0.3058	0.1543

Lanjutan Tabel 4.3

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
11	A	19,96	0.008610	113.9	0.03455	0.01650
	B	19,96	-120	112.3	0.03179	0.02435
	C	19,96	120	95.16	0.02671	0.01544
12	A	19,96	0.009562	110.2	0.2538	0.1046
	B	19,96	-120	108.3	0.2333	0.1626
	C	19,96	120	91.50	0.1955	0.1000
13	A	19,96	0.01015	37.83	0.03325	0.01546
	B	19,96	-120	30.39	0.02672	0.01769
	C	19,96	120	21.18	0.01861	0.008665
14	A	19,96	0.009973	68.49	0.09607	0.03720
	B	19,95	-120	74.03	0.09428	0.06732
	C	19,96	120	66.56	0.08433	0.04427
15	A	19,96	0.01052	12.40	0.01033	0.004746
	B	19,95	-120	14.40	0.01197	0.007888
	C	19,96	120	12.52	0.01040	0.004813
16	A	19,96	0.01022	8.723	0.003197	0.001482
	B	19,95	-120	8.892	0.003260	0.002153
	C	19,96	120	7.057	0.002587	0.001199
17	A	19,95	0.01011	45.14	0.1339	0.04507
	B	19,95	-120	49.10	0.1266	0.09241
	C	19,95	120	45.51	0.1171	0.06311
18	A	19,95	0.01009	41.36	0.09821	0.03194
	B	19,94	-120	45.11	0.09197	0.06784
	C	19,95	120	41.83	0.08513	0.04655
19	A	19,95	0.01024	37.79	0.005993	0.003119
	B	19,94	-120	36.44	0.005783	0.004170
	C	19,95	120	33.17	0.005258	0.002740
20	A	19,94	0.01066	13.36	0.008627	0.003995
	B	19,95	-120	12.90	0.008327	0.005497
	C	19,95	120	13.48	0.008686	0.004040
21	A	19,95	0.01042	6.976	0.001952	0.0009052
	B	19,94	-120	6.167	0.001726	0.001141
	C	19,95	120	4.020	0.001125	0.0005215
22	A	19,95	0.01019	16.74	0.001358	0.0002902

Lanjutan Tabel 4.3

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
22	B	19,94	-120	16.94	0.001376	0.003005
	C	19,95	120	15.06	0.001222	0.0002607
23	A	19,95	0.01027	11.37	0.001058	0.0005191
	B	19,94	-120	12.03	0.001120	0.0007710
	C	19,95	120	11.04	0.001027	0.0005036
24	A	19,95	0.01035	6.721	0.000803	0.0003777
	B	1994	-120	6.841	0.000818	0.0005451
	C	19,95	120	6.565	0.000785	0.0003683
25	A	19,95	0.01035	0.8153	0.000003	0.0000016
	B	19,94	-120	0.6947	0.000002	0.0000019
	C	19,95	120	0.7586	0.000003	0.0000015

Simulasi aliran daya pada penyulang Tunjungan digunakan data saluran dan data pembeban pada tabel 4.4 adalah hasil perhitungan dari *Magik*.

**Tabel 4.4** Aliran daya penyulang Tunjungan

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
1	A	20	0	225.8	0	0
	B	20	-120	220.6	0	0
	C	20	120	224.1	0	0
2	A	19.97	-0.01333	225.8	3.556	1.654
	B	19.97	-120.0	220.6	3.484	2.296
	C	19.97	120.0	224.1	3.526	1.644
3	A	19.95	0.02099	224.6	2.017	0.9393
	B	19.95	-120.0	219.5	1.977	1.280
	C	19.95	120.0	223.1	2.002	0.9344
4	A	19.95	0.02343	205.8	0.5387	0.2579
	B	19.95	-120.0	201.0	0.5276	0.3556
	C	19.95	120.0	204.0	0.5334	0.2560
5	A	19.95	0.02118	16.47	0.004525	0.002125
	B	19.95	-120.0	16.10	0.004422	0.002951
	C	19.95	120.0	16.85	0.004628	0.002173
6	A	19.94	0.02503	201.1	0.3221	0.1585

Lanjutan Tabel 4.4

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
6	B	19.94	-120.1	196.4	0.3154	0.2169
	C	19.94	120.0	199.2	0.3187	0.1572
7	A	19.94	0.02727	197.5	0.4664	0.2238
	B	19.94	-120.1	192.9	0.4568	0.3077
	C	19.94	120.0	195.5	0.4612	0.2218
8	A	19.94	0.02960	91.57	0.2397	0.1111
	B	19.93	-120.1	91.01	0.2375	0.1579
	C	19.94	120.0	91.55	0.2384	0.1119
9	A	19.94	0.02876	103.6	0.1660	0.07973
	B	19.93	-120.1	99.45	0.1607	0.1074
	C	19.94	120.0	101.7	0.1635	0.07798
11	A	19.93	0.03074	52.92	0.04446	0.02119
	B	19.93	-120.1	53.54	0.04536	0.03012
	C	19.93	120.0	51.85	0.04330	0.02095
14	A	19.93	0.03035	34.18	0.04261	0.01938
	B	19.93	-120.1	32.82	0.04007	0.02712
	C	19.93	120.0	35.13	0.04358	0.02007
12	A	19.93	0.03051	8.944	0.001544	0.0007292
	B	19.93	-120.1	8.651	0.001568	0.0009623
	C	19.93	120.0	9.653	0.001606	0.0008308
13	A	19.93	0.03052	4.476	0.0000115	0.0000115
	B	19.93	-120.1	4.397	0.000012	0.0000136
	C	19.93	120.0	4.915	0.0000127	0.0000126
15	A	19.93	0.03078	23.00	0.01023	0.004569
	B	19.93	-120.1	21.56	0.009297	0.006329
	C	19.93	120.0	24.12	0.01042	0.005015
16	A	19.93	0.03118	17.21	0.002738	0.001270
	B	19.93	-120.1	15.84	0.002416	0.001720
	C	19.93	120.0	18.50	0.002827	0.001444
10	A	19.93	0.03135	102.6	0.2253	0.1066
	B	19.93	-120.1	98.31	0.2178	0.1434
	C	19.93	120.0	100.7	0.2217	0.1043
17	A	19.93	0.03178	97.18	0.1081	0.05188
	B	19.93	-120.1	92.96	0.1041	0.06981

Lanjutan Tabel 4.4

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
17	C	19.93	120.0	95.43	0.1057	0.05128
19	A	19.93	0.03338	3.398	0.0004221	0.0001964
	B	19.92	-120.1	3.128	0.0003882	0.0002577
	C	19.93	120.0	3.575	0.0004443	0.0002065
18	A	19.93	0.03187	91.51	0.1621	0.07618
	B	19.93	-120.1	87.63	0.1564	0.1031
	C	19.93	120.0	89.75	0.1583	0.07524
20	A	19.93	0.03359	83.85	0.008064	0.005862
	B	19.92	-120.1	79.72	0.007779	0.007107
	C	19.93	120.0	81.87	0.007892	0.005715
23	A	19.92	0.03475	2.277	0.0000818	0.0000399
	B	19.92	-120.1	2.369	0.0000849	0.0000584
	C	19.92	120.0	2.405	0.0000896	0.0000399
22	A	19.93	0.03363	2.327	0.0001231	0.00006145
	B	19.92	-120.1	2.369	0.0001303	0.0000847
	C	19.93	120.0	2.199	0.0001203	0.0000551
21	A	19.93	0.03362	76.97	0.09634	0.04593
	B	19.92	-120.1	72.78	0.09221	0.06088
	C	19.93	120.0	75.25	0.09418	0.04492
24	A	19.92	0.03405	69.05	0.04792	0.003627
	B	19.92	-120.1	65.22	0.04546	0.004022
	C	19.92	120.0	67.43	0.04679	0.003548
25	A	19.92	0.03443	29.05	0.01565	0.006832
	B	19.92	-120.1	26.39	0.01422	0.009006
	C	19.92	120.0	28.14	0.01515	0.006622
26	A	19.92	0.03427	11.45	0.002811	0.001353
	B	19.92	-120.1	10.29	0.002642	0.001657
	C	19.92	120.0	11.00	0.002698	0.001301
27	A	19.92	0.03473	25.03	0.01939	0.008867
	B	19.92	-120.1	25.19	0.01953	0.01277
	C	19.92	120.0	24.86	0.01926	0.008808
28	A	19.92	0.03477	19.31	0.0002220	0.0002160
	B	19.92	-120.1	19.40	0.0002233	0.0002675
	C	19.92	120.0	18.97	0.0002181	0.0002122

Lanjutan Tabel 4.4

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
29	A	19.92	0.03492	15.01	0.002324	0.001129
	B	19.92	-120.1	14.76	0.002286	0.001563
	C	19.92	120.0	14.50	0.002244	0.001091
30	A	19.92	0.03494	9.211	0.0001077	0.000071
	B	19.92	-120.1	9.039	0.0001058	0.000091
	C	19.92	120.0	8.778	0.0001027	0.000068
31	A	19.92	0.03496	4.655	0.0001240	0.000049
	B	19.92	-120.1	4.470	0.0001236	0.000046
	C	19.92	120.0	4.478	0.0001193	0.000047

Dari tabel 4.2, tabel 4.3, dan tabel 4.4 dapat diketahui bahwa pada tegangan penyulang Kaliasin, Tegalsari dan Tunjungan pada setiap bus masih berada standar yang telah ditentukan yaitu lebih dari 19 kV.

**Tabel 4.5** Rugi daya di setiap penyulang kondisi normal

Penyulang	Magik		ETAP	
	Rugi Daya			
	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
Kaliasin	1.374	0.7211	1.3	0.7
Tegalsari	8.300	4.482	7.7	4
Tunjungan	24.05	12.74	22.9	11.8
Total	33.724	17.9431	31.9	16.5

Dari data tersebut dapat dilihat *error* dari pada data rugi daya dari *Magik* dan *software* simulasi tingkatan *error* 5.7% sebagai acuan. Berikut merupakan hasil kombinasi, semua dalam keadaan normal.

**Tabel 4.6** Kombinasi *switch* kondisi normal

No	<i>Switch</i>	Status
1	Kowal	<i>Close</i>
2	Ksin Pompa	<i>Open</i>
3	Joko Dolog	<i>Close</i>
4	Susana	<i>Open</i>
5	Trengguli	<i>Close</i>
6	E Kenongo	<i>Close</i>

Pada dilihat gambar 4.2, penyulang Kaliasin dalam kondisi normal dan total rugi-rugi penyulang Kaliasin adalah 1.374 kW dan 0,7211 kVAR. Kemudian gambar 4.3 penyulang Tegalsari dalam kondisi normal dan total rugi-rugi penyulang Tegalsari adalah 8.3 kW dan 4,482 kVAR.

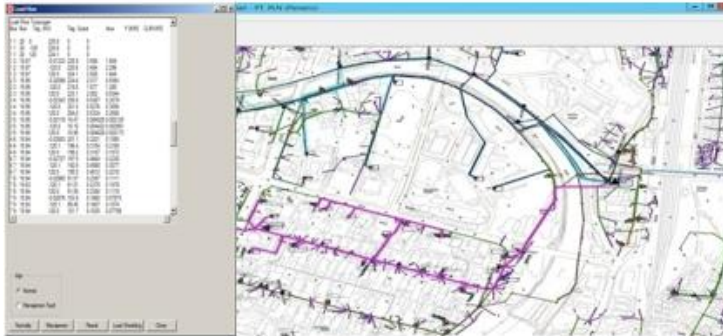
The screenshot shows the AutoCAD 2004 interface. The main window displays a map of a city street grid. A purple line highlights a specific street layout. The left panel displays a list of objects and their properties, including a table of data. The top panel shows the command line and status bar.

Object	Count	Area	Perimeter	Volume	Mass
Circle	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ellipse	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Line	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Point	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Region	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Text	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Image	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Block	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Layer	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Style	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Table	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Dimension	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Annotation	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Curve	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Surface	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mesh	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Volume	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mass	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Region	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Text	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Image	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Block	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Layer	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Style	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Table	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Dimension	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Annotation	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Curve	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Surface	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mesh	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Volume	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mass	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

46



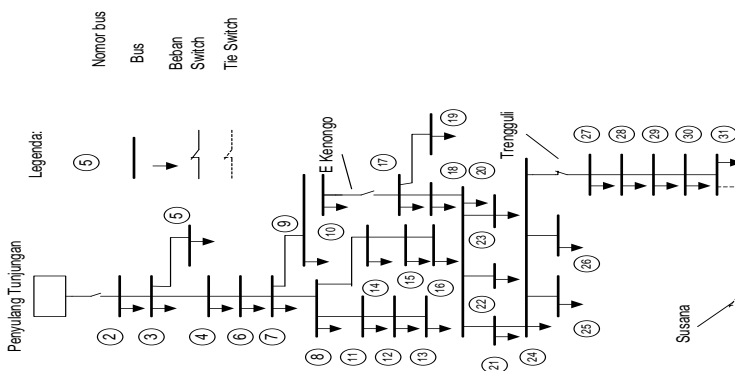
Pada gambar 4.4 merupakan penyulang Tunjungan Dalam kondisi normal dan total rugi-rugi daya penyulang Tunjungan adalah 24,05 kW dan 12,74 kVAR



**Gambar 4.4** Penyulang Tunjungan kondisi normal

### 4.3 Penyulang Surabaya pada Kasus ke-2

Pada penyulang kasus ke-2 penyulang Tunjungan mengalami gangguan hubung singkat pada penyulang Tunjungan pada lokasi pada bus 2, sehingga diperlukan proses isolasi dan retorasi agar permasalahan tersebut dapat teratasi. Jika dilakukan proses isolasi gangguan maka CB penyulang Tunjungan dan *switch* E Kenongo harus dibuka.



**Gambar 4.5** Diagram satu garis penyulang Tunjungan

Pada penyulang Tunjungan tidak dapat terlayani. Supaya beban Tunjungan dapat terlayani kembali maka dilakukan restorasi maka dilakukan dilakukan proses optimasi algoritma genetika mencari rugi-rugi daya terkecil.

#### 4.4 Optimasi Genetika Algoritma pada Kasus ke-2

Dalam menentukan kombinasi hanya ada tiga kombinasi yang paling efektif. Percobaan dilakukan dalam keadaan beban satu fasa, masing-masing sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil paling optimum dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini.

**Tabel 4.7** Optimasi algoritma genetika kasus 2

Penyulang	Rugi Daya Aktif (kW)		
	Percobaan		
	1	2	3
Kaliasin	0.03432	1.374	27.5
Tegalsari	45.48	31.17	2.932
Total	45.51432	32.544	30.432

Dari hasil percobaan tersebut maka total rugi daya aktif terkecil didapat nilai 30.432 kW, dilakukan *loadflow* aliran daya untuk mendapat rugi daya dalam keadaan tiga fasa *unbalance.loadflow* Kaliasin, dan Tegalsari pada tabel 4.8, dan tabel 4.9 di bawah ini.

**Tabel 4.8** Aliran daya penyulang Kaliasin kasus ke-2

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
1	A	20	0	192.3	0	0
	B	20	-120	191.6	0	0
	C	20	120	192.1	0	0
2	A	19.98	0.007562	192.3	2.386	1.030
	B	19.97	-120.0	191.6	2.294	1.544
	C	19.98	120.0	192.1	2.293	1.101
3	A	19.98	0.007749	8.042	0.002247	0.001046
	B	19.97	-120.0	8.219	0.002297	0.001521
	C	19.98	120.0	8.396	0.002347	0.001091
5	A	19.93	0.02082	180.4	3.943	1.685
	B	19.93	-120.1	179.6	3.780	2.538

Lanjutan Tabel 4.8

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q(kVAR)
5	C	19.93	120.0	179.8	3.772	1.807
4	A	19.93	0.02062	7.242	0.002162	0.001002
	B	19.93	-120.1	7.334	0.002191	0.001446
	C	19.93	120.0	8.313	0.002482	0.001149
6	A	19.93	0.02085	3.667	0.000108	5.329
	B	19.93	-120.1	3.575	0.000105	0.000072
	C	19.93	120.0	4.199	0.000123	0.00006
7	A	19.93	0.02366	26.77	0.1274	0.05840
	B	19.92	-120.1	26.31	0.1252	0.08206
	C	19.93	120.0	26.40	0.1256	0.05764
8	A	19.91	0.02900	142.6	1.782	0.7771
	B	19.91	-120.1	142.3	1.694	1.187
	C	19.91	120.0	141.2	1.674	0.8407
9	A	19.91	0.02961	141.8	0.1085	0.05012
	B	19.90	-120.1	141.6	0.1032	0.07457
	C	19.91	120.0	140.4	0.1018	0.05393
10	A	19.90	0.03119	135.8	0.3362	0.1437
	B	19.90	-120.1	135.4	0.3188	0.2191
	C	19.90	120.0	134.6	0.3154	0.1566
11	A	19.90	0.03199	131.2	0.1428	0.06370
	B	19.90	-120.1	130.2	0.1344	0.09553
	C	19.90	120.0	130.1	0.1336	0.06932
12	A	19.90	0.03161	125.8	0.08055	0.01403
	B	19.90	-120.1	125.3	0.07490	0.1706
	C	19.90	120.0	126.1	0.07731	0.01839
13	A	19.90	0.03205	13.39	0.008666	0.004014
	B	19.89	-120.1	12.92	0.008369	0.005520
	C	19.90	120.0	13.51	0.008725	0.004060
14	A	19.90	0.03180	6.991	0.001961	0.000909
	B	19.89	-120.1	6.180	0.001734	0.001146
	C	19.90	120.0	4.028	0.001130	0.000524
15	A	19.90	0.03115	104.7	0.05019	0.004339
	B	19.89	-120.1	105.8	0.04647	0.1288
	C	19.90	120.0	108.0	0.04945	0.007898

Lanjutan Tabel 4.8

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q( kVAR)
16	A	19.90	0.03132	3.787	0.000807	0.000399
	B	19.89	-120.1	3.999	0.000855	0.000433
	C	19.90	120.0	3.694	0.000789	0.000388
17	A	19.90	0.03228	97.34	0.1057	0.05295
	B	19.89	-120.1	93.10	0.1019	0.07102
	C	19.90	120.0	95.58	0.1033	0.05232
18	A	19.90	0.03245	92.68	0.04959	0.01738
	B	19.89	-120.1	88.62	0.04766	0.02595
	C	19.90	120.0	91.10	0.04854	0.01726
19	A	19.90	0.03266	88.12	0.009691	0.006438
	B	19.89	-120.1	84.05	0.009333	0.007966
	C	19.90	120.0	86.79	0.009491	0.006370
20	A	19.90	0.03347	82.31	0.06892	0.03354
	B	19.89	-120.1	78.32	0.06617	0.04462
	C	19.90	120.0	81.07	0.06752	0.03328
21	A	19.90	0.03362	78.00	0.003483	0.003392
	B	19.89	-120.1	73.68	0.003333	0.003941
	C	19.90	120.0	76.59	0.003391	0.003339
22	A	19.89	0.03538	72.28	0.1551	0.07099
	B	19.88	-120.1	67.87	0.1470	0.09467
	C	19.89	120.0	70.69	0.1508	0.07010
23	A	19.89	0.03576	29.10	0.01570	0.006856
	B	19.88	-120.1	26.43	0.01428	0.009032
	C	19.89	120.0	28.19	0.01520	0.006646
24	A	19.89	0.03561	11.47	0.002820	0.001358
	B	19.88	-120.1	10.31	0.002651	0.001662
	C	19.89	120.0	11.02	0.002707	0.001305
25	A	19.89	0.03508	28.18	0.008120	0.0005678
	B	19.88	-120.1	27.79	0.008028	0.0006890
	C	19.89	120.0	28.05	0.008011	0.0006766
26	A	19.89	-0.03546	25.90	0.01108	0.005171
	B	19.88	-120.1	25.42	0.01094	0.007192
	C	19.89	120.0	25.65	0.01076	0.005275
27	A	19.89	-0.03550	2.331	0.000123	0.0000617

Lanjutan Tabel 4.8

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
27	A	19.88	-120.1	2.373	0.000130	0.000085
	B	19.89	120.0	2.203	0.000120	0.000055
28	A	19.89	-0.03557	7.932	0.000941	0.0004608
	B	19.88	-120.1	7.574	0.000941	0.0005956
	C	19.89	120.0	7.840	0.000930	0.0004553
29	A	19.89	-0.03549	13.36	0.000213	0.0001474
	B	19.88	-120.1	13.27	0.000206	0.0001915
	C	19.89	120.0	13.58	0.000206	0.0001553
30	A	19.89	-0.03566	9.951	0.002020	0.0008791
	B	19.88	-120.1	10.13	0.001996	0.001335
	C	19.89	120.0	10.00	0.001917	0.0009657
31	A	19.89	-0.03592	7.669	0.002384	0.001006
	B	19.88	-120.1	7.931	0.002373	0.001577
	C	19.89	120.0	7.890	0.002281	0.001161

**Tabel 4.9** Aliran daya penyulang Tegalsari kasus ke-2

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
			Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
1	A	20	0	99.98	0	0
	B	20	-120	94.72	0	0
	C	20	120	80.11	0	0
2	A	20.00	0.001322	99.98	0.1898	0.08944
	B	20.00	-120.0	94.72	0.1799	0.1203
	C	20.00	120.0	80.11	0.1520	0.07171
3	A	19.99	0.003095	93.88	0.2470	0.1152
	B	19.99	-120.0	88.83	0.2338	0.1553
	C	19.99	120.0	74.31	0.1955	0.09128
4	A	19.99	0.003775	87.98	0.08131	0.03895
	B	19.99	-120.0	82.61	0.07635	0.05164
	C	19.99	120.0	68.60	0.06336	0.03039
5	A	19.99	0.003794	3.551	0.000085	0.000042
	B	19.99	-120.0	3.749	0.00009	0.000062
	C	19.99	120.0	3.382	0.00008	0.00004
6	A	19.99	0.004508	80.77	0.08373	0.03961

Lanjutan Tabel 4.9

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
6	B	19.99	-120.0	75.03	0.07778	0.05222
	C	19.99	120.0	61.30	0.06350	0.03009
7	A	19.99	0.005302	79.71	0.08981	0.04245
	B	19.98	-120.0	74.14	0.08355	0.05596
	C	19.99	120.0	59.69	0.06722	0.03182
8	A	19.98	0.005759	78.50	0.04556	0.02231
	B	19.98	-120.0	73.07	0.04241	0.02918
	C	19.98	120.0	58.40	0.03388	0.01661
9	A	19.98	0.006485	73.46	0.07723	0.03627
	B	19.98	-120.0	68.15	0.07166	0.04779
	C	19.98	120.0	54.13	0.05687	0.02675
10	A	19.98	0.007778	70.96	0.1375	0.06391
	B	19.98	-120.0	65.81	0.1275	0.08446
	C	19.98	120.0	51.84	0.1004	0.04674
11	A	19.98	0.007950	68.73	0.01175	0.006285
	B	19.98	-120.0	63.13	0.01080	0.007929
	C	19.98	120.0	49.61	0.008477	0.004541
12	A	19.98	0.008818	64.98	0.08226	0.03854
	B	19.97	-120.0	59.12	0.07485	0.04987
	C	19.98	120.0	45.95	0.05813	0.02728
13	A	19.97	0.009404	37.81	0.03319	0.01544
	B	19.97	-120.0	30.37	0.02668	0.01766
	C	19.97	120.0	21.17	0.01858	0.008651
14	A	19.97	0.009145	23.34	0.01088	0.005118
	B	19.97	-120.0	24.91	0.01160	0.007766
	C	19.97	120.0	21.03	0.009788	0.004621
15	A	19.97	0.009687	12.39	0.01031	0.004738
	B	19.97	-120.0	14.39	0.01195	0.007875
	C	19.97	120.0	12.51	0.01038	0.004804
16	A	19.97	0.009387	8.715	0.003192	0.001479
	B	19.97	-120.0	8.885	0.003254	0.002150
	C	19.97	120.0	7.051	0.002582	0.001197

Dari tabel 4.8 dapat diketahui setelah melakukan optimasi pada proses restorasi maka beban pada bus 17 sampai bus 30 pada dari penyulang Tunjungan sudah kembali terlayani dan dilayani oleh penyulang Kaliasin sebagai penyulang yang terpilih. dan tabel 4.9 penyulang Tegalsari melayani beban dari peenyulang itu sendiri. Dari hasil simulasi diperoleh juga tegangan pada penyulang setelah terjadi restorasi terhadap beban penyulang Kaliasin masih berada pada *standart* yang ditentukan lebih dari 19 kV. Sehingga daya terlayani dengan mendapatkan rugi-rugi daya terkecil.

**Tabel 4.10** Status *switch*

No	Switch	Status	
		Normal	Isolasi dan Restorasi
1	Kowal	<i>Close</i>	<i>Close</i>
2	Ksin Pompa	<i>Open</i>	<i>Close</i>
3	Joko Dolog	<i>Close</i>	<i>Open</i>
4	Susana	<i>Open</i>	<i>Close</i>
5	Trengguli	<i>Close</i>	<i>Close</i>
6	E Kenongo	<i>Close</i>	<i>Open</i>

Dapat dilihat dari tabel 4.10, terdapat perbedaan status dalam kondisi normal dan kondisi isolasi, dan restorasi. Proses isolasi karena gangguan terjadi pada penyulang Tunjungan, maka *switch* E Kenongo diubah menjadi *open*. Setelah itu dilakukan restorasi *tie switch* Ksin Pompa dan Susana sebelum terjadi gangguan permanen berada dalam posisi terbuka menjadi tertutup untuk mengalirnya listrik dari penyulang Kaliasin menuju beban dari penyulang Tunjungan yang tidak terkena gangguan permanen. Sementara itu, *switch* Joko Dolog berubah menjadi *open* untuk menjaga jaringan tetap dalam kondisi radial.

#### 4.5 Penyulang Surabaya pada Kasus ke-3

Pada kasus ke-3, dilakukan pengkondisian untuk membuka penyulang pendukung setelah dilakukan proses isolasi dan restorasi mengalami *overload* ialah dengan memperbesar nilai impedansi saluran dan menambahkan beban pada penyulang Tunjungan. Dimana Beban tiga fasa tidak seimbang,

**Tabel 4.11** Data saluran udara Tunjungan kasus ke-3

Saluran		Impedansi	
Dari	Ke	R	X
17	19	3.910	0.1920
17	18	2.010	0.9800
18	20	1.200	0.0600
20	23	1.560	1
20	22	2.440	1.200
20	21	0.170	0.0830
21	24	0.105	0.0500
24	25	0.198	0.0900
24	26	0.230	0.1120

**Tabel 4.12** Data beban Tunjungan kasus ke-3

Bus	Daya					
	P (kW)			Q(kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
18	400	140	532	109	680	124
19	450	235	470	250	450	250
20	249	72	259	75	271	68
21	349	72	340	70	330	134
22	2500	4350	6770	2525	3590	4579
23	450.6	289.9	457.5	143.0	440.3	150.0
24	234	112	245	106	235	109
25	317	92.4	288	84	307	89.6
26	125	36.4	116	29.1	120	35

**Tabel 4.13** Aliran daya penyulang Kaliasin sebelum *load shedding*

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P(kW)	Q(kVAR)
1	A	20	0	518.9	0	0
	B	20	-120	511.6	0	0
	C	20	120	530.1	0	0
2	A	19.94	-0.01732	518.9	16.42	8.009
	B	19.93	-120	511.6	16.86	10.68
	C	19.94	120	530.1	17.18	7.854
3	A	19.94	-0.01751	8.057	0.002256	0.001051



Lanjutan Tabel 4.13

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
	B	19.93	-120	8.234	0.002307	0.001527
	C	19.94	120	8.412	0.002356	0.001096
5	A	19.82	-0.04869	507	29.39	14.28
	B	19.81	-120.1	499.6	30.18	19.03
	C	19.82	120	517.9	30.75	13.98
4	A	19.82	-0.04849	7.283	0.002187	0.001014
	B	19.81	-120.1	7.373	0.002219	0.001462
	C	19.82	120	8.36	0.002511	0.001164
6	A	19.82	-0.04871	3.688	0.000109	5.40E-05
	B	19.81	-120.1	3.594	0.000107	7.33E-05
	C	19.82	120	4.223	0.000125	6.16E-05
7	A	19.81	-0.05159	26.92	0.1288	0.05914
	B	19.8	-120.1	26.45	0.1268	0.08298
	C	19.81	119.9	26.55	0.127	0.05836
8	A	19.74	-0.0724	468.9	18.04	9.129
	B	19.73	-120.2	462.1	18.61	12.13
	C	19.74	119.9	479	18.93	8.926
9	A	19.74	-0.07419	468.1	1.106	0.5898
	B	19.72	-120.2	461.4	1.142	0.7689
	C	19.74	119.9	478.2	1.161	0.5785
10	A	19.72	-0.07882	462.1	3.638	1.817
	B	19.7	-120.2	455.2	3.751	2.393
	C	19.72	119.9	472.4	3.819	1.775
11	A	19.71	-0.08127	457.4	1.62	0.8439
	B	19.7	-120.2	449.9	1.67	1.101
	C	19.71	119.9	467.9	1.703	0.8267
12	A	19.71	-0.07973	452	0.9823	0.2351
	B	19.69	-120.2	445	1.038	2.15
	C	19.71	119.9	463.8	1.028	0.215
13	A	19.71	-0.08018	13.52	0.008836	0.0041
	B	19.69	-120.2	13.04	0.008548	0.005623
	C	19.71	119.9	13.63	0.008896	0.004146
14	A	19.71	-0.07993	7.056	0.001999	0.000929
	B	19.69	-120.2	6.236	0.001772	0.001167

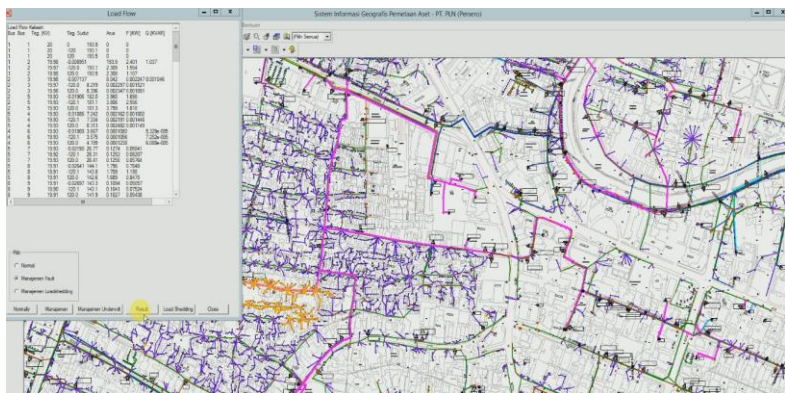
Lanjutan Tabel 4.13

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
	C	19.71	119.9	4.066	0.001152	0.000535
15	A	19.71	-0.07767	430.7	0.7939	0.126
	B	19.68	-120.3	425.2	0.8493	2.09
	C	19.71	119.9	445.5	0.8365	0.1067
	A	19.71	-0.07785	3.823	0.000824	0.000408
16	B	19.68	-120.3	4.036	0.000874	0.000442
	C	19.71	119.9	3.729	0.000806	0.000397
	A	19.7	-0.0812	423.2	1.856	1.018
17	B	19.67	-120.3	412.4	1.94	1.29
	C	19.7	119.9	433	1.991	0.9713
	A	19.69	-0.08128	418.5	0.9436	0.3719
18	B	19.67	-120.3	407.9	0.9771	0.5033
	C	19.69	119.9	428.4	1.006	0.3412
	A	19.69	-0.08207	413.9	0.1973	0.1422
19	B	19.67	-120.3	403.3	0.2088	0.1704
	C	19.69	119.9	424.1	0.2139	0.1388
	A	19.68	-0.08485	408.1	1.573	0.8424
20	B	19.66	-120.3	397.5	1.646	1.058
	C	19.68	119.9	418.3	1.692	0.8006
	A	19.68	-0.08554	403.7	0.08524	0.08982
21	B	19.66	-120.3	392.8	0.09229	0.1044
	C	19.68	119.9	413.8	0.09408	0.08962
	A	19.66	-0.09176	397.9	4.392	2.227
22	B	19.63	-120.3	386.9	4.586	2.814
	C	19.66	119.9	407.8	4.723	2.098
	A	19.65	-0.09621	29.44	0.1609	0.07302
23	B	19.62	-120.3	26.73	0.1466	0.0688
	C	19.65	119.9	28.52	0.1558	0.07077
	A	19.66	-0.09436	11.6	0.02887	0.01447
24	B	19.63	-120.3	10.42	0.0271	0.01273
	C	19.66	119.9	11.14	0.02771	0.0139
	A	19.6	-0.1128	332	10.26	5.522
25	B	19.57	-120.3	324.6	10.83	4.78
	C	19.6	119.9	343.4	11.25	5.2
	A	19.5	-0.1448	308.9	14.23	7.826
26	B	19.47	-120.4	300.5	15.04	6.955
	C	19.4	120	319	33.86	7.117

Lanjutan Tabel 4.13

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P(kW)	Q(kVAR)
27	A	19.29	-0.1789	54.25	4.684	3.354
	B	19.27	-120.4	43.92	4.851	1.773
	C	19.2	119.9	43.46	4.668	1.864
28	A	19.25	-0.3687	81.82	10.39	6.596
	B	19.22	-120.6	83.12	10.28	6.872
	C	19.15	119.7	83.71	10.75	6.686
29	A	19.22	0.1307	142.3	21.8	2.593
	B	19.44	-120.4	143.8	2.359	1.079
	C	19.37	119.9	158	2.558	1.208
30	A	18.87	0.1373	102.6	16.78	8.817
	B	19.09	-120.4	97.39	16.94	7.398
	C	19.02	120	99.35	16.5	8.294
31	A	18.58	0.571	52.3	8.844	0.3933
	B	18.79	-120	54.19	9.168	0.4108
	C	18.98	120	52.14	0.873	0.4381

Pada tabel 4.13 di atas dari proses optimasi dipilih penyulang Kaliasin penyokong dari penyulang Tunjungan yang mengalami gangguan permanen, di dapatkan rugi daya 487.6 kW dan 230.4kVAR



**Gambar 4.6** Sebelum pelepasan beban

Dari tabel 4.13 dapat diketahui bahwa pada penyulang pendukung penurunan tegangan yang melebihi *standart* yang ditentukan dikarenakan penambahan beban sehingga penyulang pendukung yang melakukan isolasi dan restorasi pada beban dari penyulang Kaliasin mengalami *undervoltage*. *Overload* dapat di atasi dengan *load shedding* (pelepasan beban). Dalam penentuan pelepasan beban maka beban harus diklasifikasikan sesuai dengan prioritas. Beban yang penting (rumah sakit dan industri) tidak akan menjadi pilihan dalam *load shedding*. Sehingga beban yang dipilih memiliki prioritas terendah seperti rumah tangga dan pusat perbelanjaan atau toko dan penerangan jalan. Kemudian dilakukan optimasi dengan algoritma genetika untuk mendapatkan rugi-rugi daya yang terkecil. Setelah didapat hasil dengan membuka *switch* beban yang ditanggung penyulang pendukung dapat berkurang sehingga aliran daya pada penyulang Kaliasin berubah menjadi yang ditunjukkan pada tabel 4.14. Setelah dilakukan *load shedding*, tegangan mengalami pemulihan sesuai standar ( $>19$  kV).

**Tabel 4.14** Aliran daya penyulang Kaliasin setelah *load shedding*

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
1	A	20	0	119.8	0	0
	B	20	-120	123.5	0	0
	C	20	120	121.2	0	0
2	A	19.99	-0.003670	119.8	0.9310	0.3854
	B	19.98	-120.0	123.5	0.9047	0.6212
	C	19.99	120.0	121.2	0.8898	0.4333
3	A	19.98	-0.003856	8.039	0.002245	0.001045
	B	19.98	-120.0	8.215	0.002295	0.001520
	C	19.98	120.0	8.392	0.002345	0.001090
5	A	19.96	-0.009695	108.0	1.419	0.5771
	B	19.96	-120.0	111.5	1.374	0.9445
	C	19.96	120.0	109.0	1.346	0.6562
4	A	19.96	-0.009498	7.234	0.002156	0.0009991
	B	19.96	-120.0	7.325	0.002185	0.001442
	C	19.96	120.0	8.303	0.002476	0.001146
6	A	19.96	-0.009719	3.663	0.0001077	0.000053
	B	19.96	-120.0	3.571	0.0001053	0.000072

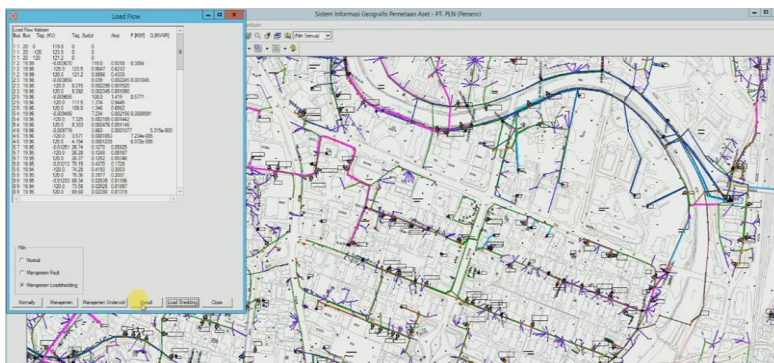
Lanjutan Tabel 4.14

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q(kVAR)
	C	19.96	120.0	4.194	0.0001235	0.00006
7	A	19.95	-0.01251	26.74	0.1270	0.05825
	B	19.95	-120.0	26.28	0.1248	0.08187
	C	19.95	120.0	26.37	0.1252	0.05748
8	A	19.95	-0.01213	70.15	0.4370	0.1728
	B	19.94	-120.0	74.28	0.4193	0.3053
	C	19.95	120.0	70.36	0.3977	0.2081
9	A	19.95	-0.01233	69.34	0.02635	0.01106
	B	19.94	-120.0	73.58	0.02525	0.01897
	C	19.95	120.0	69.60	0.02390	0.01319
10	A	19.95	-0.01276	63.43	0.07445	0.02833
	B	19.94	-120.0	67.44	0.07109	0.05108
	C	19.95	120.0	63.79	0.06732	0.03511
11	A	19.94	-0.01297	58.78	0.02916	0.01146
	B	19.94	-120.0	62.25	0.02743	0.02050
	C	19.94	120.0	59.32	0.02619	0.01433
12	A	19.94	-0.01273	53.41	0.01471	0.001793
	B	19.94	-120.0	57.34	0.01329	0.03261
	C	19.94	120.0	55.30	0.01395	0.003675
13	A	19.94	-0.01316	13.37	0.008629	0.003996
	B	19.94	-120.0	12.90	0.008330	0.005499
	C	19.94	120.0	13.48	0.008688	0.004041
14	A	19.94	-0.01291	6.977	0.001952	0.0009055
	B	19.94	-120.0	6.168	0.001726	0.001141
	C	19.94	120.0	4.020	0.001125	0.0005217
15	A	19.94	-0.01251	32.36	0.005039	0.00004
	B	19.94	-120.0	37.83	0.004439	0.01432
	C	19.94	120.0	37.18	0.005191	0.001050
16	A	19.94	-0.01268	3.779	0.0008043	0.0003974
	B	19.94	-120.0	3.992	0.0008510	0.0004322
	C	19.94	120.0	3.687	0.0007865	0.0003863
17	A	19.94	-0.01282	25.01	0.007194	0.003600
	B	19.94	-120.0	25.18	0.007248	0.005109
	C	19.94	120.0	24.84	0.007144	0.003576

Lanjutan Tabel 4.14

Bus	Fase	Tegangan		Arus	Rugi Daya	
		Mag.	Sudut		P (kW)	Q (kVAR)
18	A	19.94	-0.01286	20.36	0.002488	0.0008640
	B	19.94	-120.0	20.71	0.002510	0.001399
	C	19.94	120.0	20.36	0.002488	0.0008652
19	A	19.94	-0.01290	15.80	0.0003249	0.0002157
	B	19.94	-120.0	16.14	0.0003322	0.0002868
	C	19.94	120.0	16.07	0.0003303	0.0002192
20	A	19.94	-0.01301	10.01	0.001083	0.0005271
	B	19.94	-120.0	10.43	0.001130	0.0007720
	C	19.94	120.0	10.35	0.001121	0.0005447
21	A	19.94	-0.01302	5.715	0.000019	0.000018
	B	19.94	-120.0	5.792	0.000019	0.000023
	C	19.94	120.0	5.885	0.000019	0.000019

Jumlah rugi-rugi daya terlayani pada penyulang kaliasin setelah melakukan pelepasan pada proses restorasi didapat nilai 9.4 kW dan 4.08 kVAR. Untuk mengurangi beban yang tidak terlayani maka dilakukan *load shedding* pada sistem yang mengalami *undervoltage*. Setelah mengalami pelepasan beban, rugi-rugi daya berkurang dilihat pada gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Setelah pelepasan beban

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada Tugas Akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil dari proses isolasi dan restorasi pada penyulang yang mengalami gangguan sangat efektif digunakan untuk meningkatkan keberlangsungan pelayanan daya listrik.
- Algoritma genetika dapat mengoptimalkan pencarian rugi daya terkecil, sehingga mendapatkan solusi restorasi terbaik.
- Penggabungan antara perhitungan secara matematis menggunakan analisa aliran daya ,dan algoritma genetika ,serta *GIS* dapat memudahkan pemantauan manajemen gangguan pada sistem jaringan disribusi.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Program analisis aliran daya dapat dikembangkan untuk sistem distribusi tiga fasa *unbalanced* aktif.

*Halaman sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulasno, “Analisa Sistem Tenaga Listrik”, Satya Wacana, Semarang, 1993
- [2] Marsudi, Djiteng, ”Operasi Sistem Tenaga Listrik”, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006
- [3] Wigati, Joko, “Penggunaan *Substation Automation System* untuk Manajamen Gangguan dan Analisis Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Kota Surabaya”, Jurnal Teknik POMITS Vol 1, No 1, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2014
- [4] Anugrah, Akhmad, “Penentuan Kombinasi *Tie Switch* Pada Jaringan Distribusi Radial Untuk Minimisasi Rugi Daya Berbasis *Geographic Information System* (GIS) Menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)”, Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016
- [5] Nowbakht, Azim., Moshtaghian, Hojat., Sedaghati, R., dan Ghaedi, Vahid., “*Optimum Rearrangment by GA and GIS in Distribution Network*”, IEEE, 22nd International Conference on Electricity Distribution. 2013

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Choirur Rochman**, biasa dipanggil Rochman. Lahir di Lamongan Jawa Timur pada tanggal 23 April tahun 1991. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Sukorejo 2 Lamongan, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 3 Lamongan dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Lamongan. Pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya dengan program studi Teknik Informatika. Pada tahun 2012 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3. Penulis pada tahun 2014 melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro. (email: rocxman23@gmail.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*